

# ボリビア空気シャワー共同実験



垣本 史雄、常定 芳基 (東工大)

2012/12/08 東京大学宇宙線研究所 共同利用研究成果発表会

# 稼働中プロジェクト

- BASJE (Bolivian Air Shower Joint Experiment) (東工大、理研など)
- 太陽中性子望遠鏡 (名大STE研など)
- Neutron Monitor - 国際ネットワーク
- 大気中放射性物質モニター (山形大)
- LAGO: Auger型水チェレンコフタンク 3台による何かのモニタ
- サンアンドレス大の大気物理グループ：オゾンや大気電場等の研究プロジェクトがスタート
- 国立天文台：電波望遠鏡を置くプロジェクト検討中

**共同利用研究費 - 260万円**

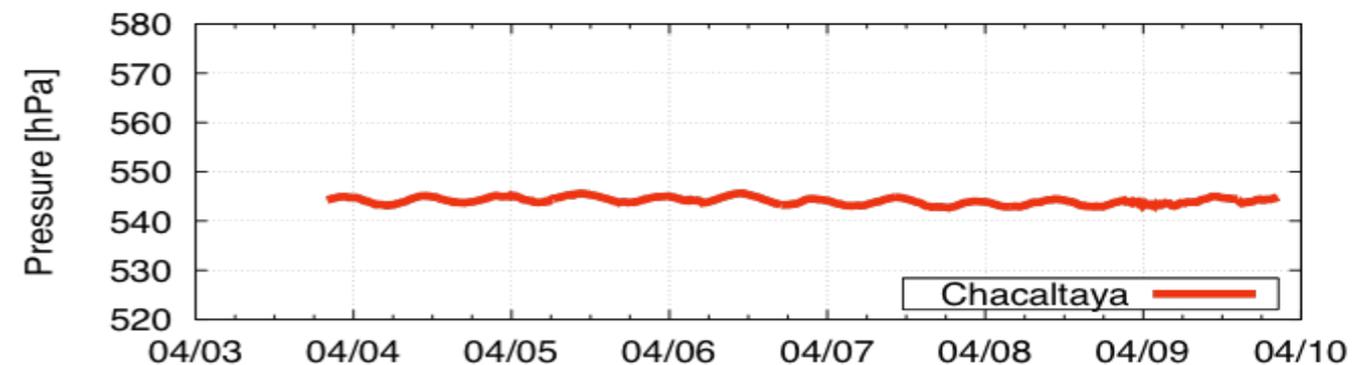
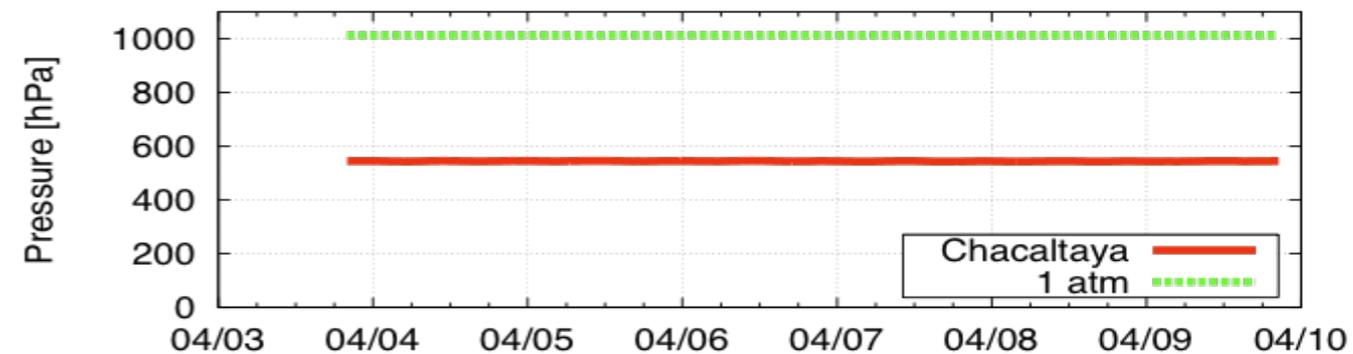
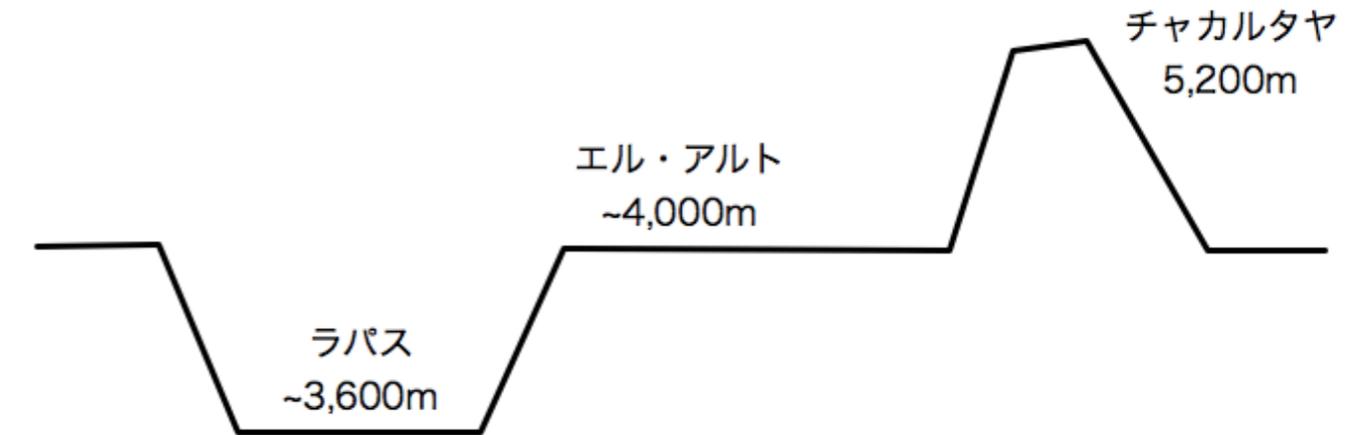
•維持費、物品費、旅費

# 2012年前半報告

- どれも安定稼働している。
- 日本の冬期（12-3月、こちらの春夏期）は湿度が上がり、雨・雷が多く検出器が被害を受けることも多いが、今年はほとんど影響がなかった。
- 2011年末よりインターネット開通（ちょっと信じられないくらいすごいこと、、、）
  - なでしこJapanの準優勝はチャカルタヤで知った。技術的な調べ物をしている最中、誤ってYahoo Japanの速報ページをクリックしてしまったことによる偶発的事故。
- 2012年7-8月：コロラド大医学部から20名ほどの研究者・協力者が観測所に泊まり込み。高地環境が人体に与える影響を調べていた。
- 8/22-31: 5th School of Cosmic Ray Physics and Astrophysics @ サンアンドレス大学
  - <http://www.fiumsa.edu.bo/5scra2012/index.htm>
  - 2年に1度南米で開かれている（これまでボリビア、メキシコ、ペルー、ブラジルで開催）。今年はラパスで。

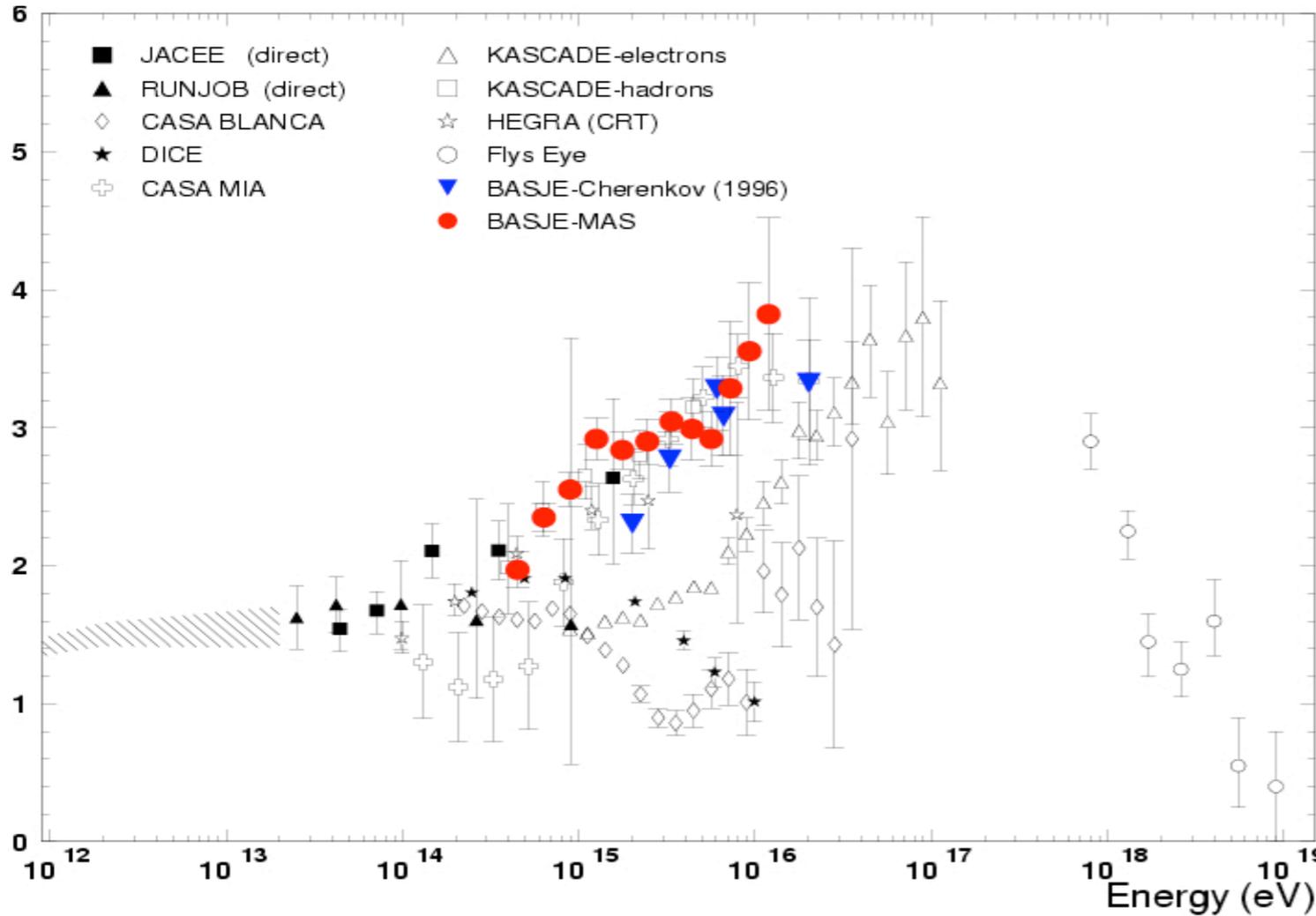
# チャカルタヤ観測所/体制

- 標高5,200m、大気厚さ $\sim 540\text{g}/\text{cm}^2$ 
  - $\sim 500\text{Hz}/\text{m}^2$  (>single)
- ラパスから車で2時間（下り1.5時間）
- 現地スタッフ
  - 宇宙物理屋：2名
  - 技術職員：1名
  - 「オブレロ」：4名
- 日本人
  - 常定（東工大）：8-10月、勝谷（東工大M2）
  - 田島（理研）：9-11月

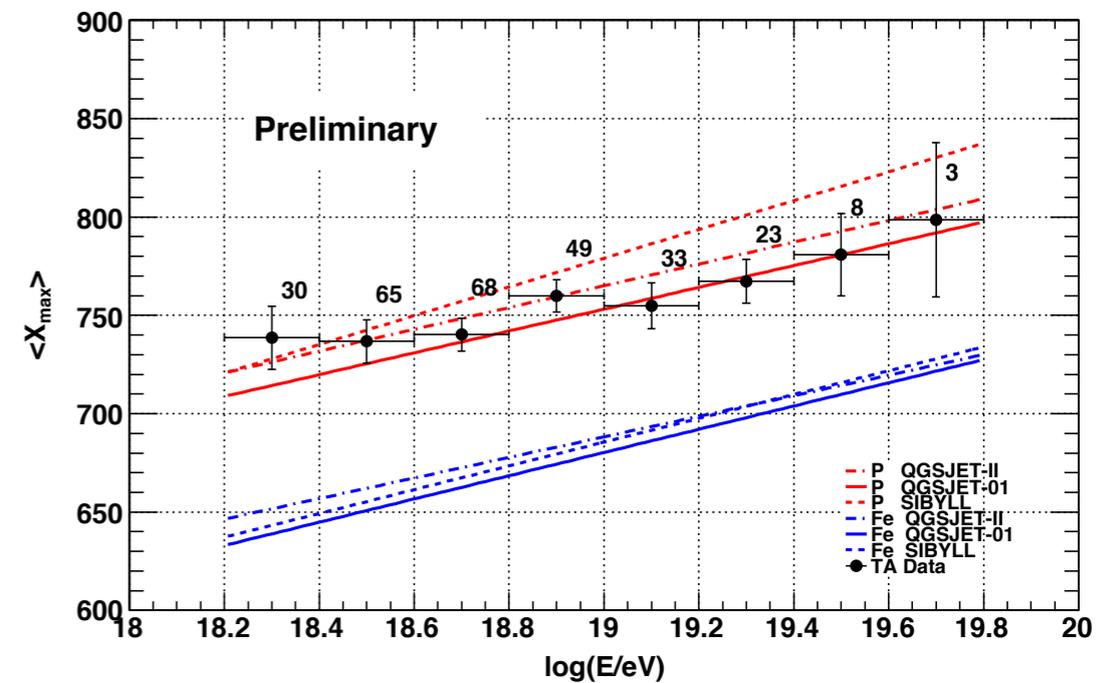
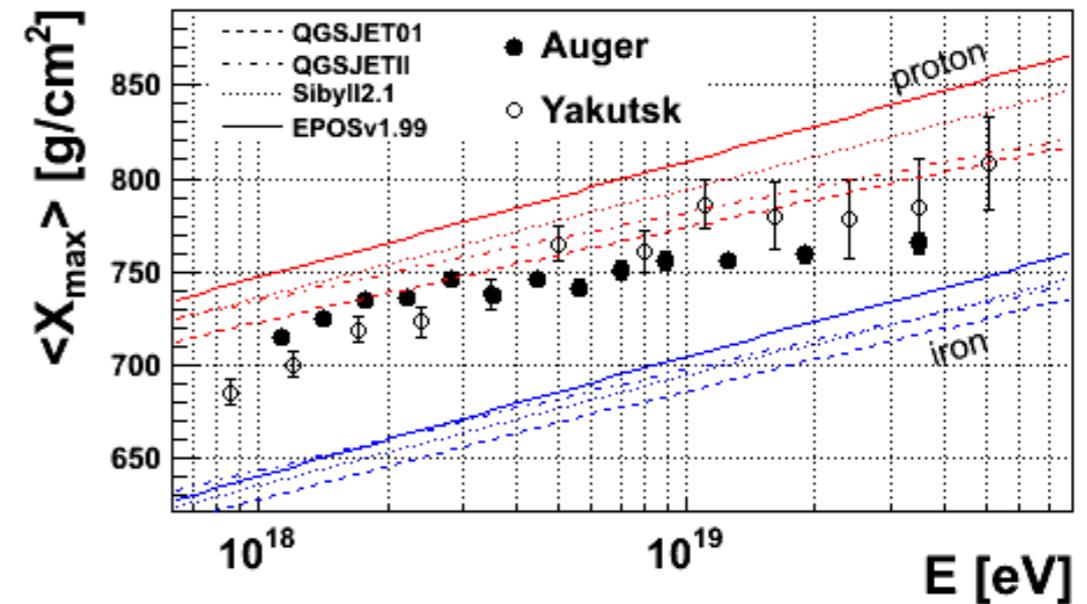
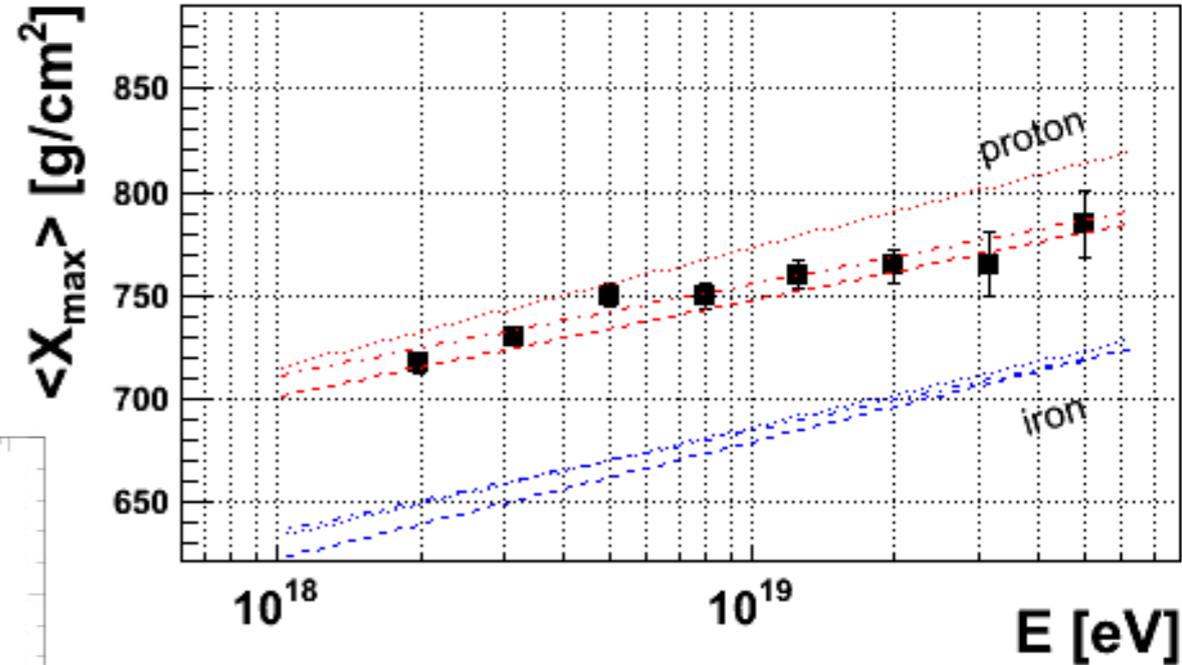


# ターゲット

$\langle \ln A \rangle$

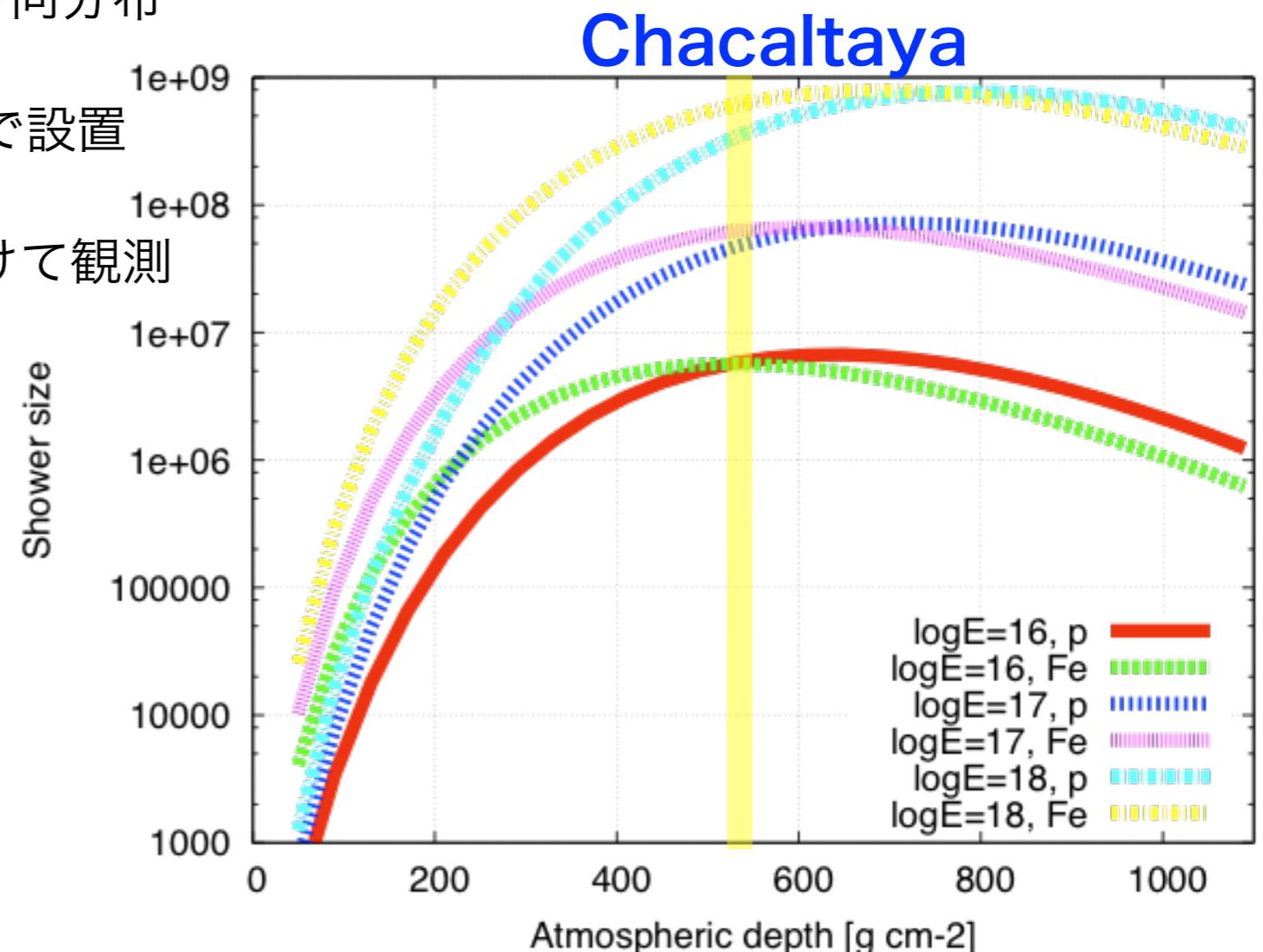


- Kneeは重い
- $10^{18}$ eVでは軽い (?)
- ではその中間は?
- **$10^{15} \sim 10^{17}$ eVの原子核組成**
- 観測方法、高度的にも中間

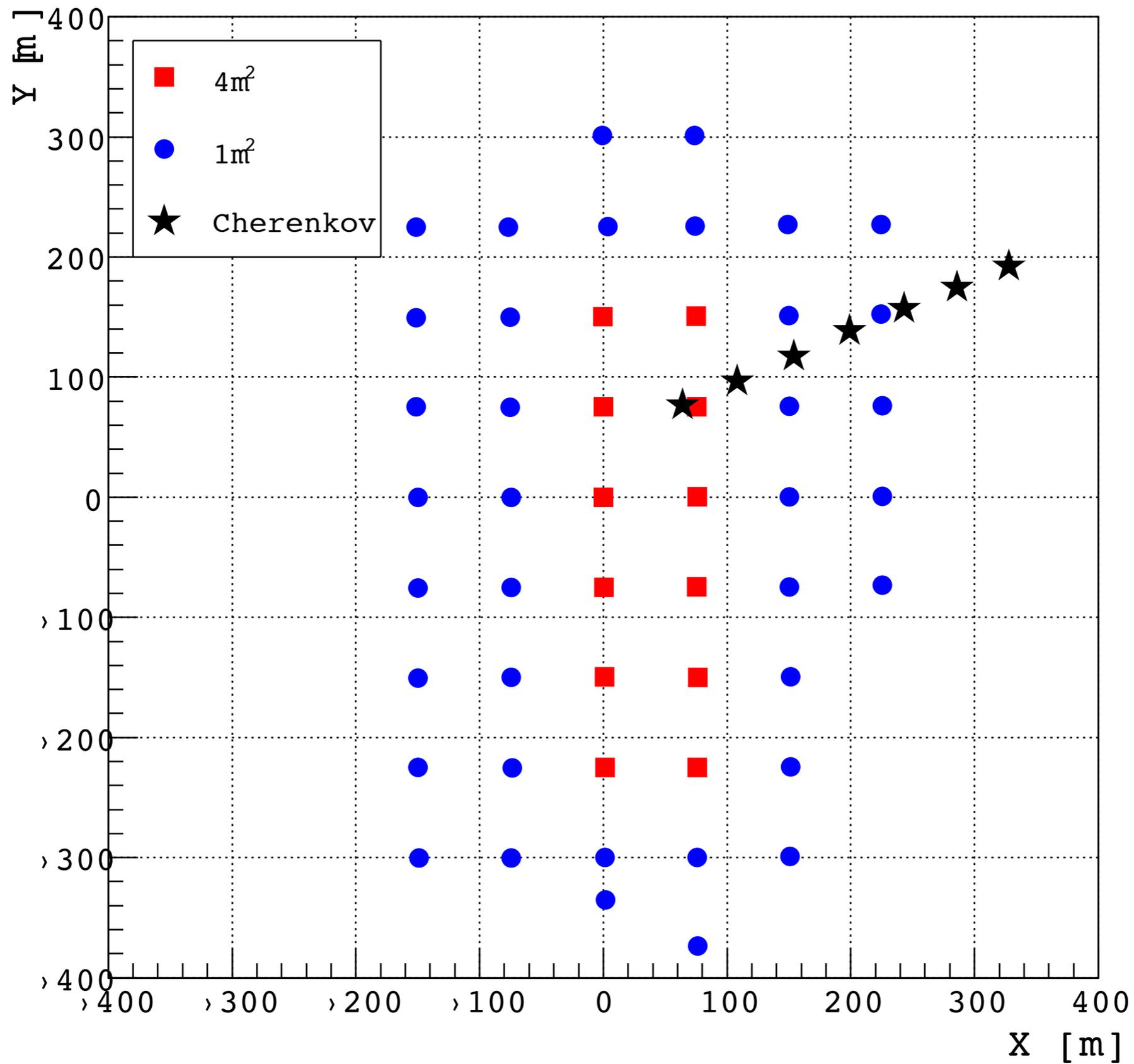


# チェレンコフ光観測

- 空気シャワーアレイ：2010年より安定稼働
- 2012年度：7台のチェレンコフ光検出器をインストール
- $10^{15}\sim 10^{17}$ eVの原子核組成
- 上空を見たい：エネルギー高くても、やはり高高度で迎えに行って観測
- チェレンコフ光の到着時刻分布、横方向分布
- アレイ中心から動径方向に50m間隔で設置
- Twilight/月の入りとともにふたを開けて観測
- 無人運転を目指す

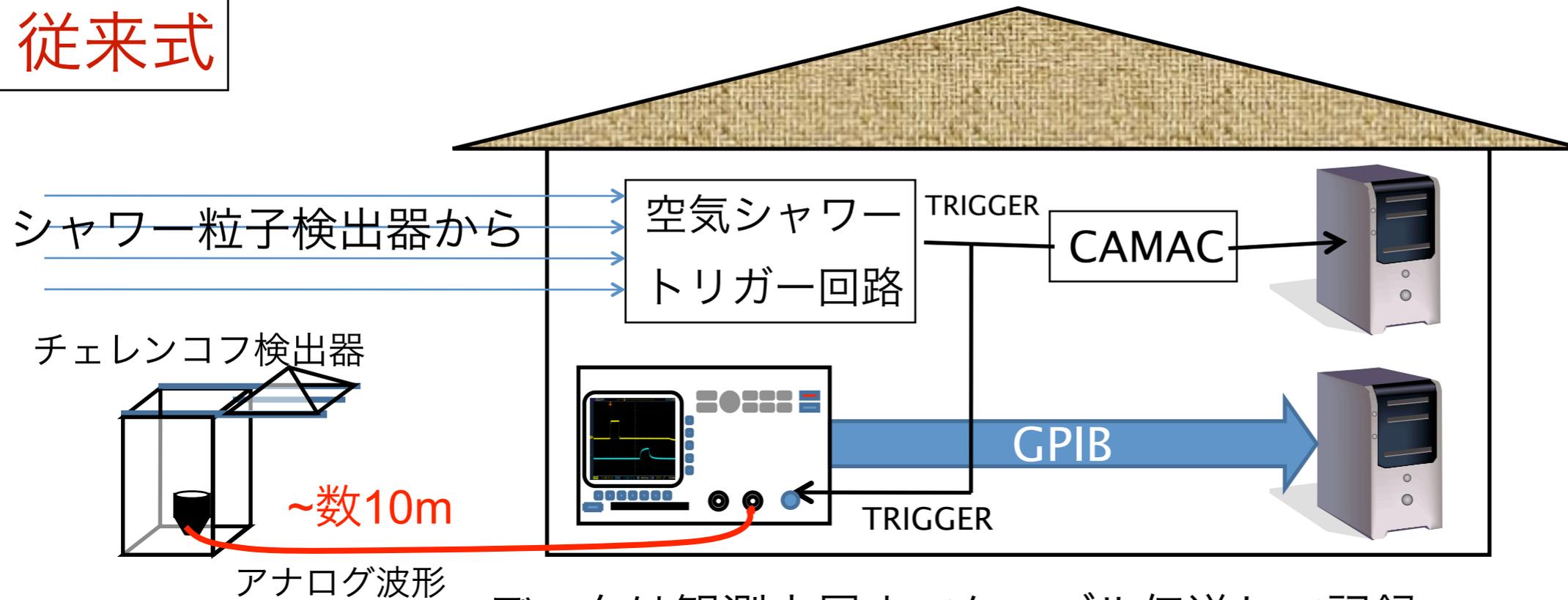


# 検出器配置



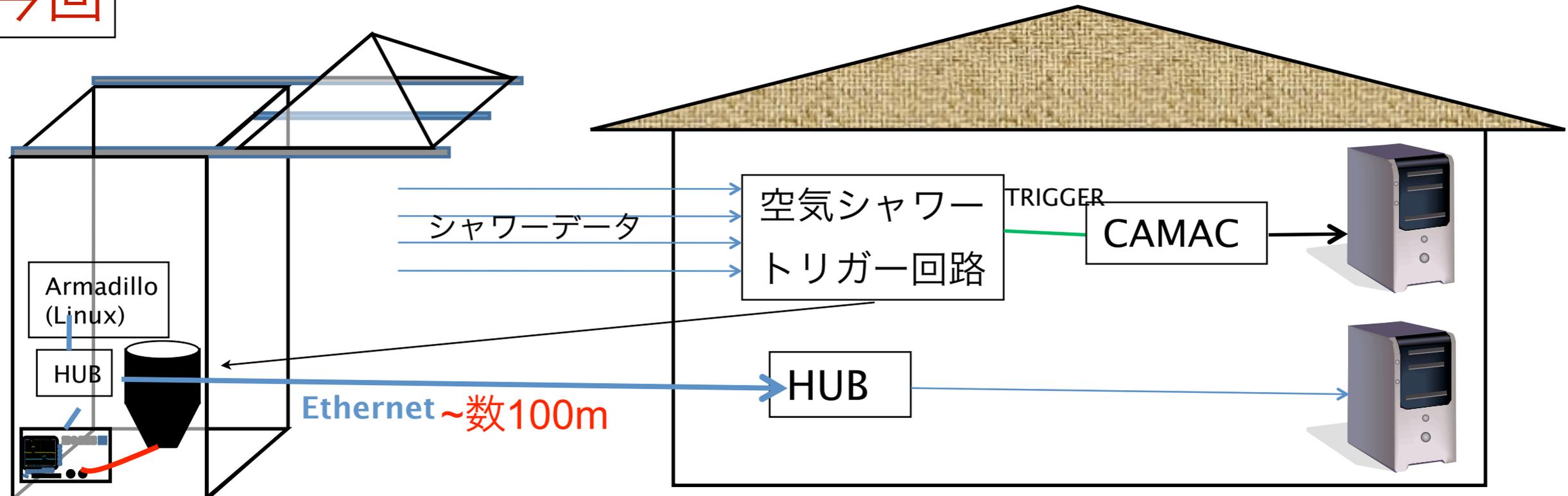
# 前の実験との違い

従来式



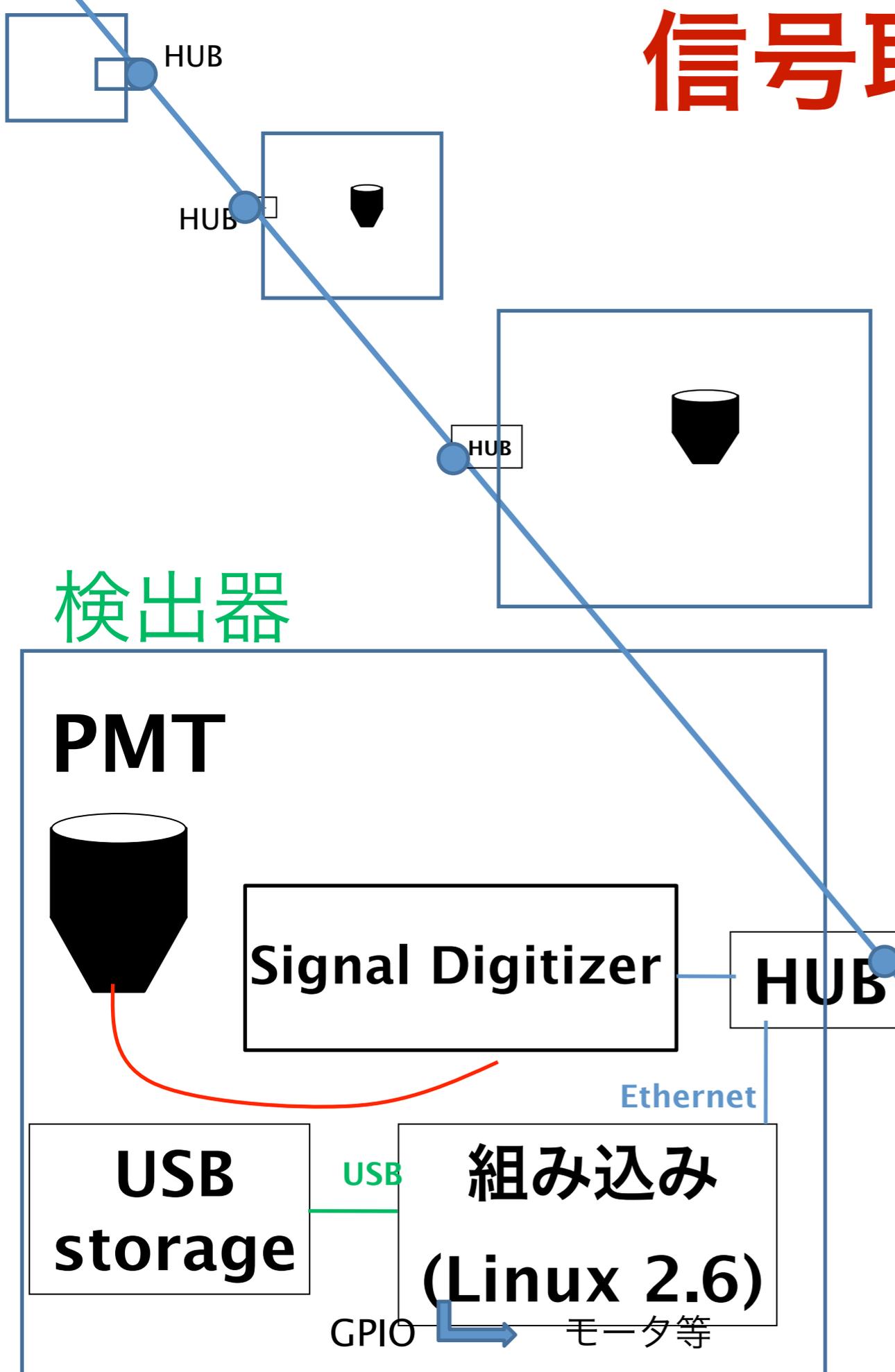
データは観測小屋までケーブル伝送して記録

今回



検出器が遠いので、検出器内でデジタル化、記録

# 信号取得部



検出器

PMT

Signal Digitizer

HUB

Ethernet

USB storage

USB

組み込み

(Linux 2.6)

GPIO

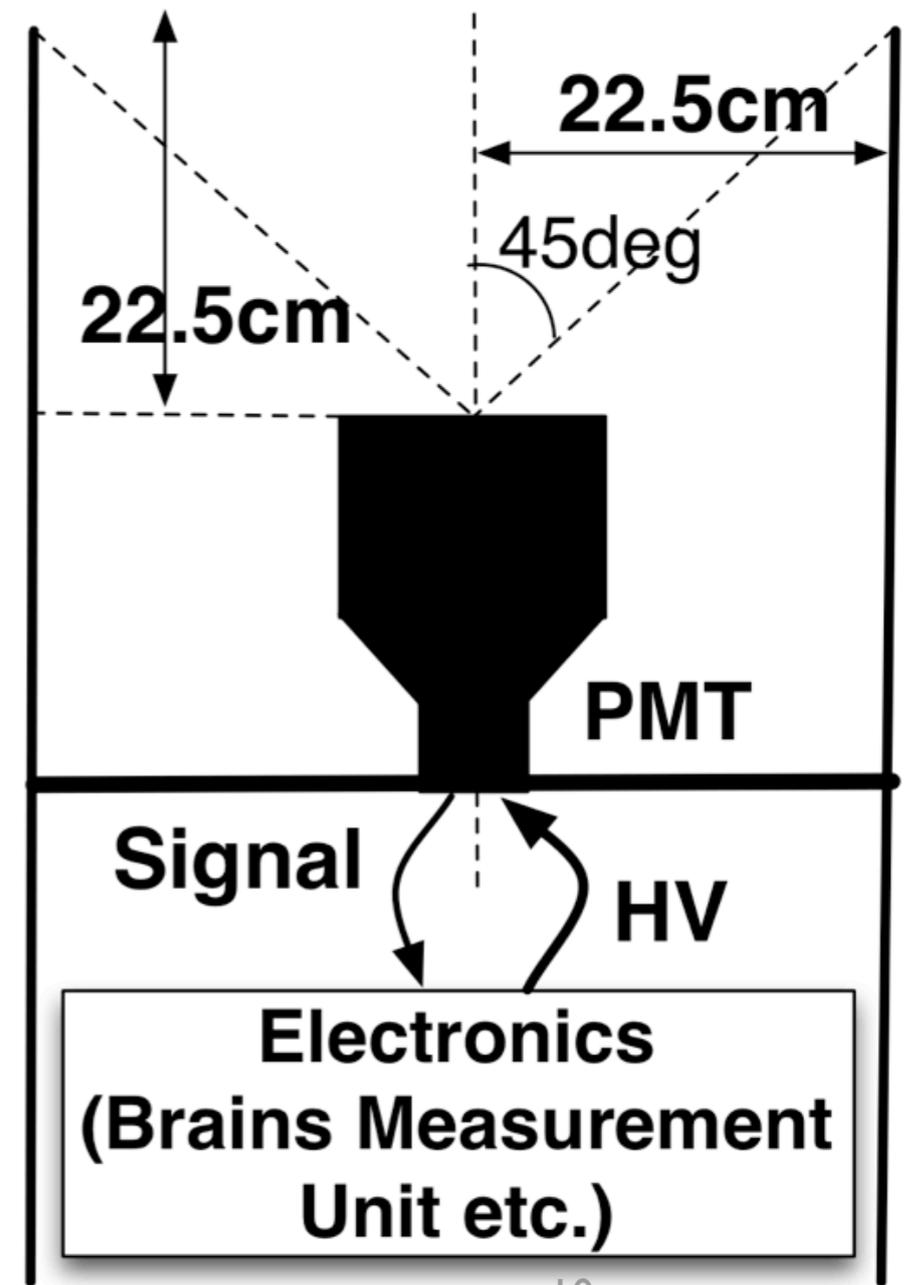
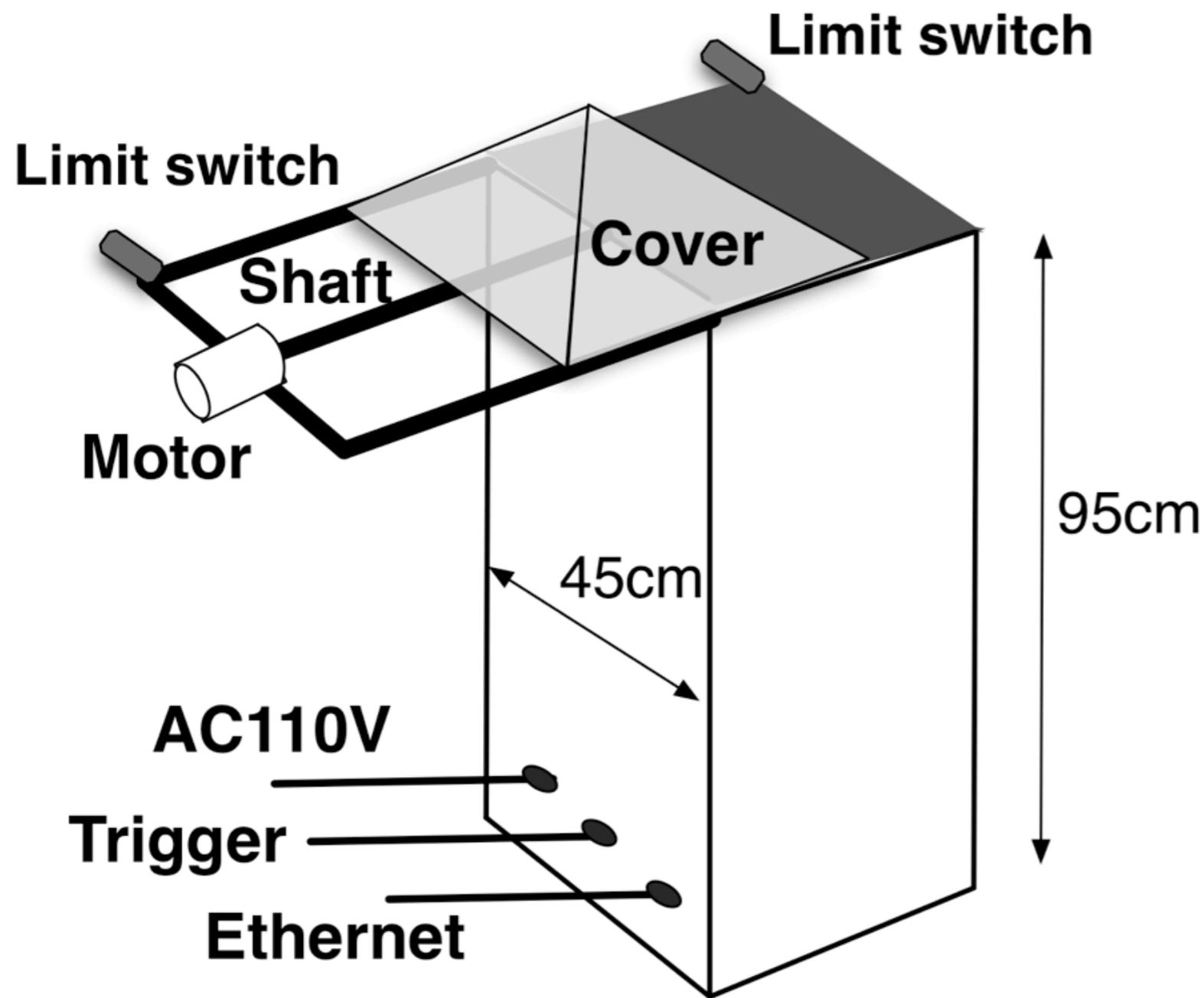
モータ等

- 各検出器は HUB を通して Ethernet 接続
- PMT信号はその場でデジタル化
- 各検出器のデータ取得、モータ等の制御は組み込み Linux で
- データはローカルマウントした USB HDに保存
- 観測中はネットワーク通信はモニタのみ (データは観測終了後吸い出し)  
コントロールルー

Ethernet



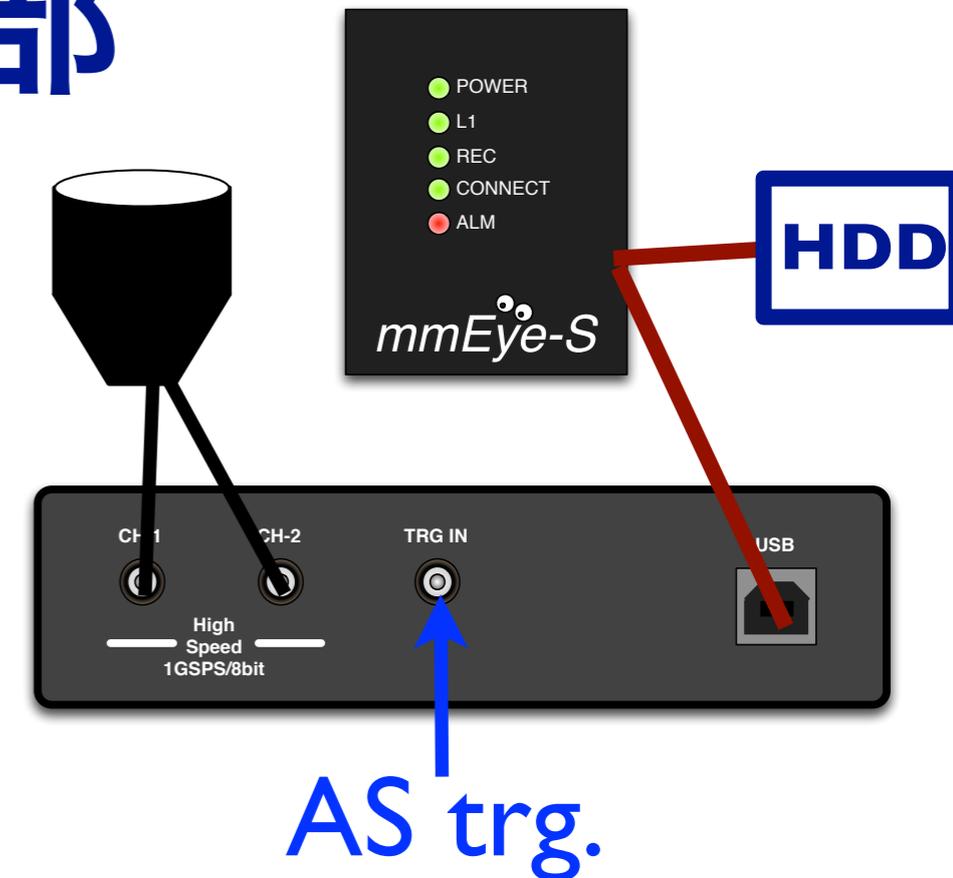
# 検出器：箱



# データ取得部

## mmEye-S

- ARM CPU
- Linux 2.6
- ネットワーク、USB 2ポート
- ブレインズ社既製品
  - クロス開発環境が提供される

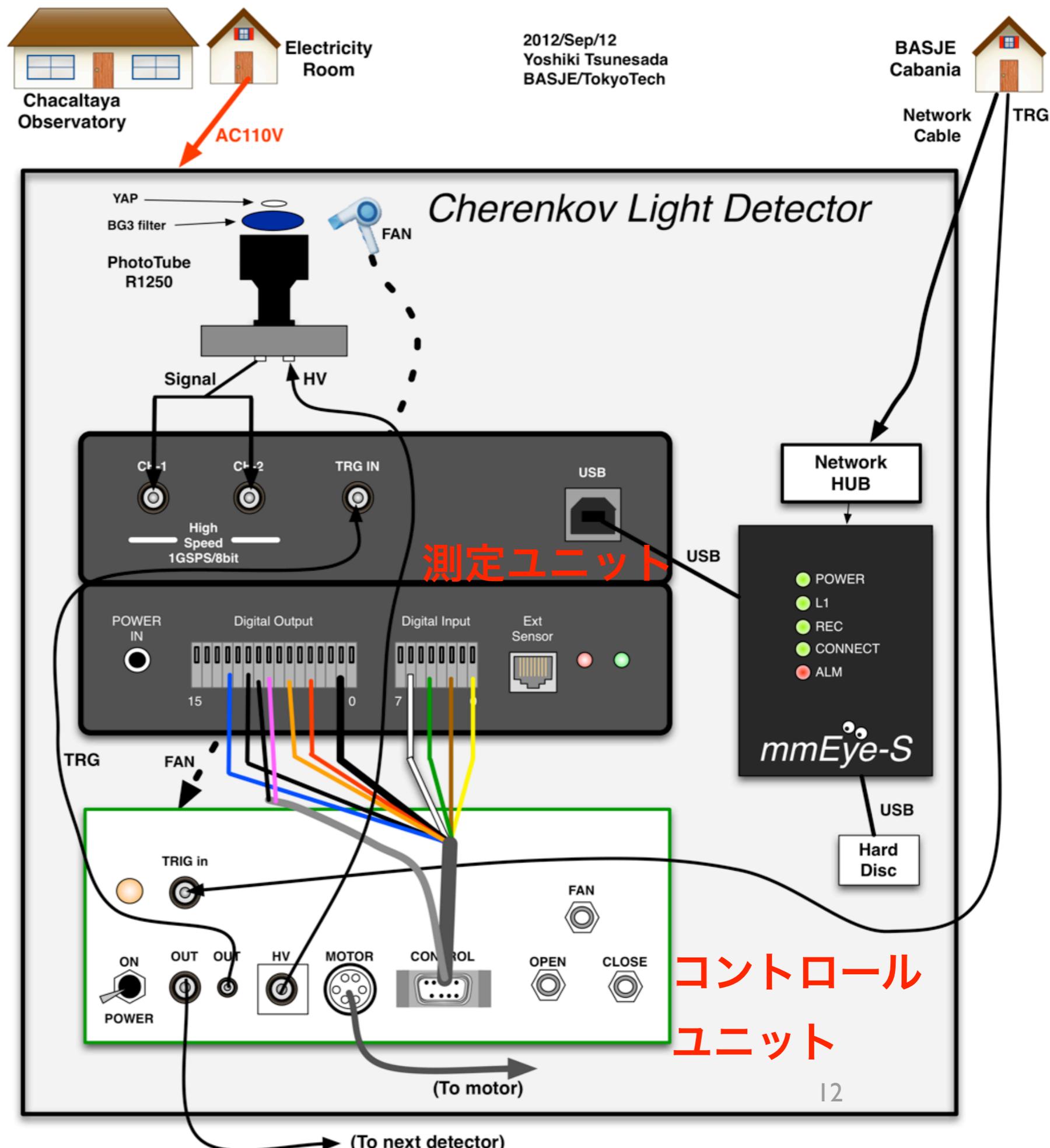


## 測定ユニット (MU)

- 1GHz サンプリング、8bit, 300MHz 帯域, 2CH
- トリガ：内部(CH1/CH2)、外部
- PC (mmEye-S) とUSB接続

# 検出器概要

- PMT: R1250
- 小型Linux: mmEye-S (ブレインズ)
- 測定ユニット (MU) (ブレインズ)
- コントロールユニット
  - HV
  - モータ制御回路
  - ファン制御
  - トリガー



# データ収集、トリガ

- 空気シャワーアレイからトリガをもらう
  - トリガ信号ケーブルのディレイは測定済み
- データ収集レート：1Hz: mmEye-S とMUの通信速度による制限
  - チェレンコフ検出器それぞれはGPS等の標準時計は持たず：mmEye (Linux) のNTP時刻同期のみ
  - シャワーイベントとチェレンコフイベントの対応付けはトリガ順とPC時刻で十分：確認済み

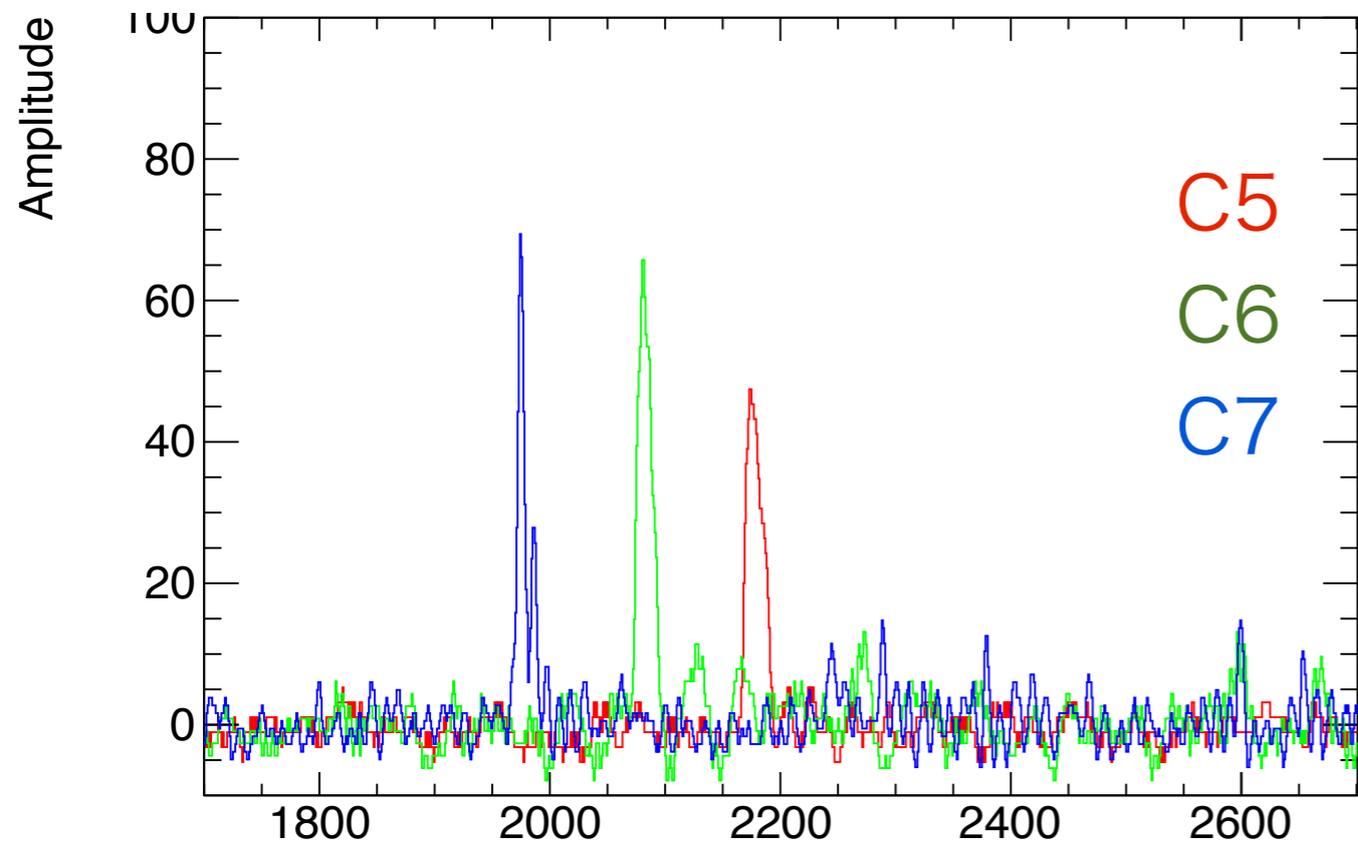
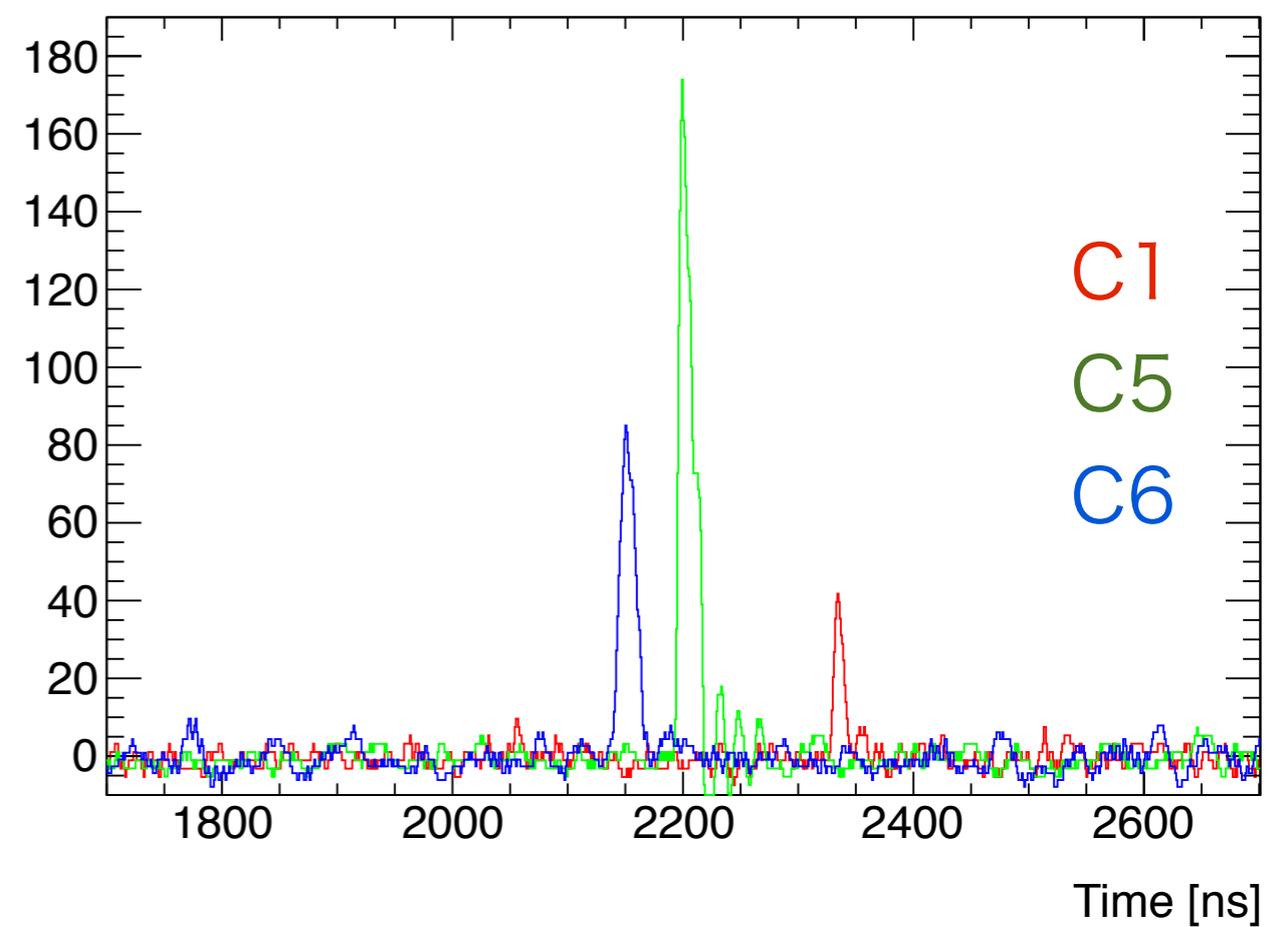
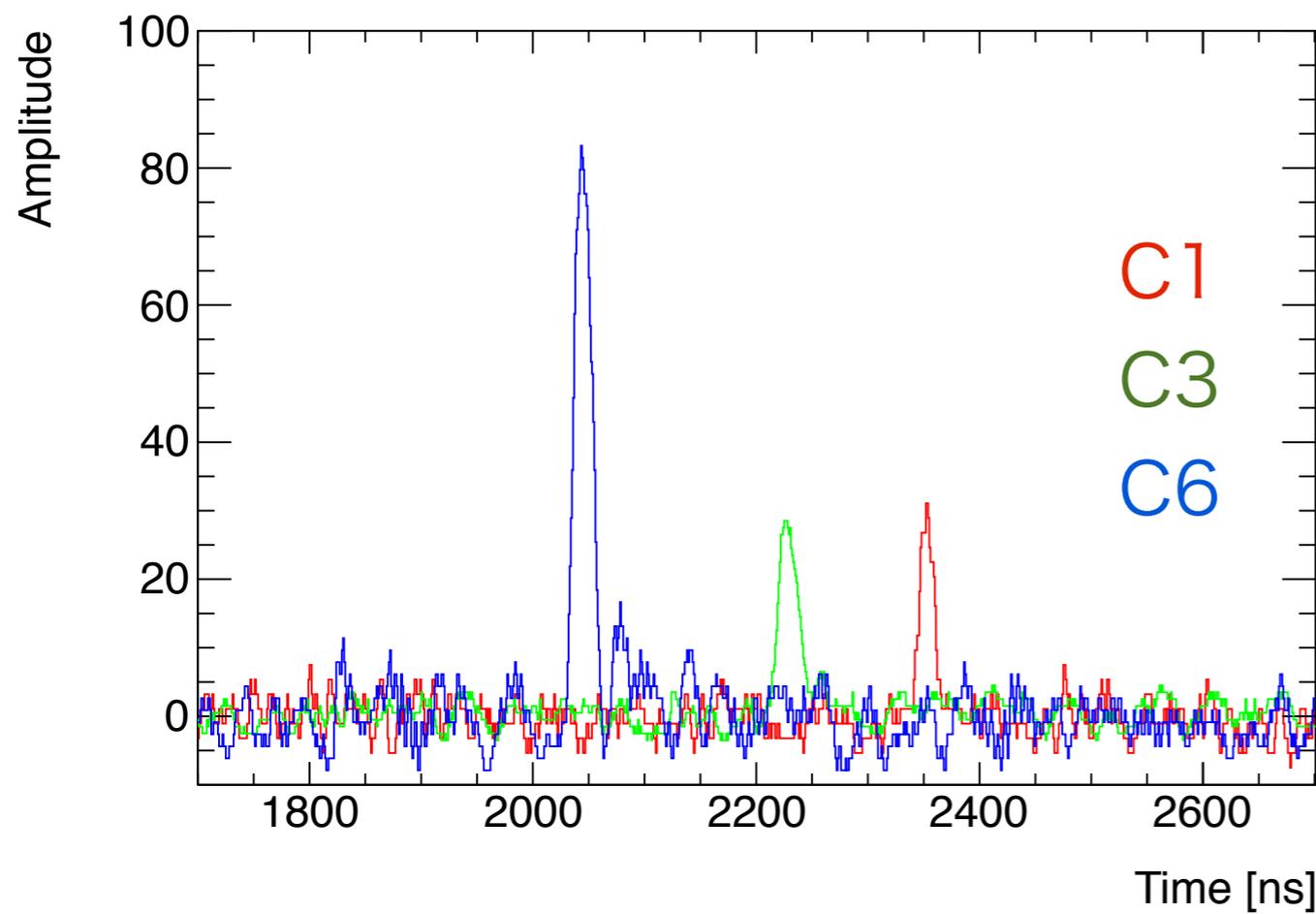
# 設置作業



# テスト観測

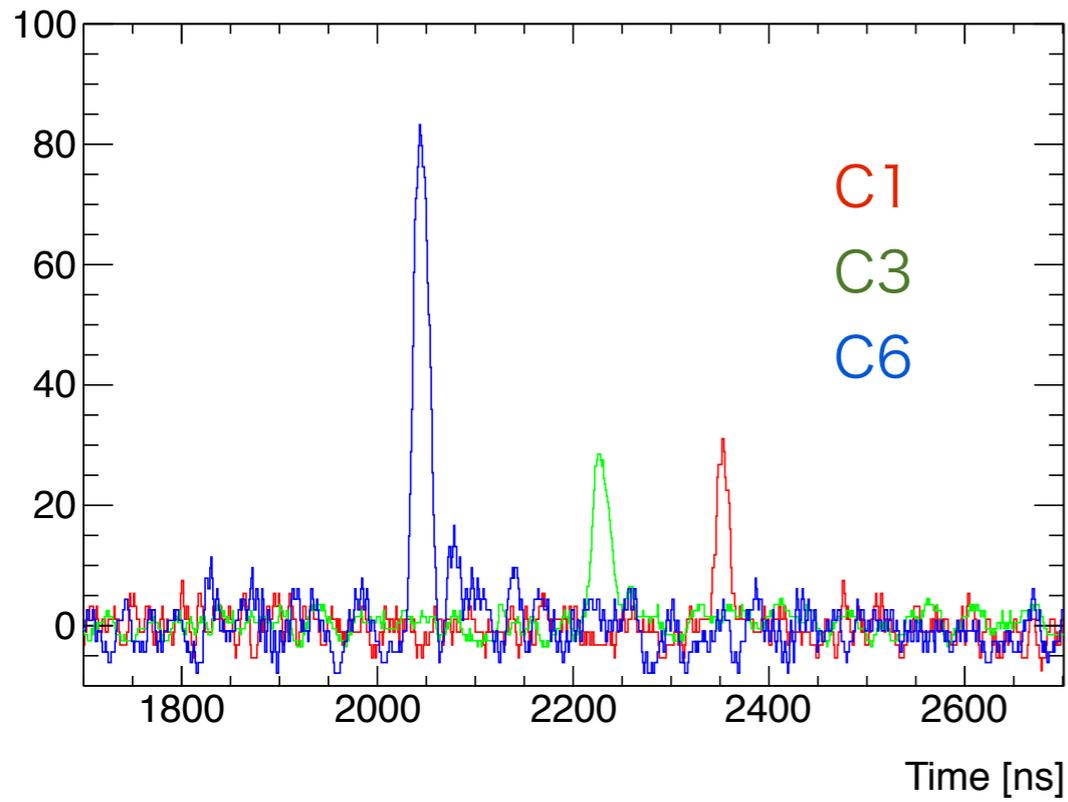
- 2012/Sep/26, 27
  - それぞれ~1時間
  - 天気：曇
- DAQ動作テスト
  - 観測開始時間をプログラム：自動開始
  - 終了時刻をプログラム：自動終了
  - (フィールドに出す前はテスト済み)
- シャワーアレイからのトリガーによるチェレンコフイベント取得
- (この後、検出器は箱・ケーブルを残して撤収)
  - 例年10-3月は天候不順
  - 2013年4月より本格観測 (4-10月の観測でも9%稼働率)

# イベント例

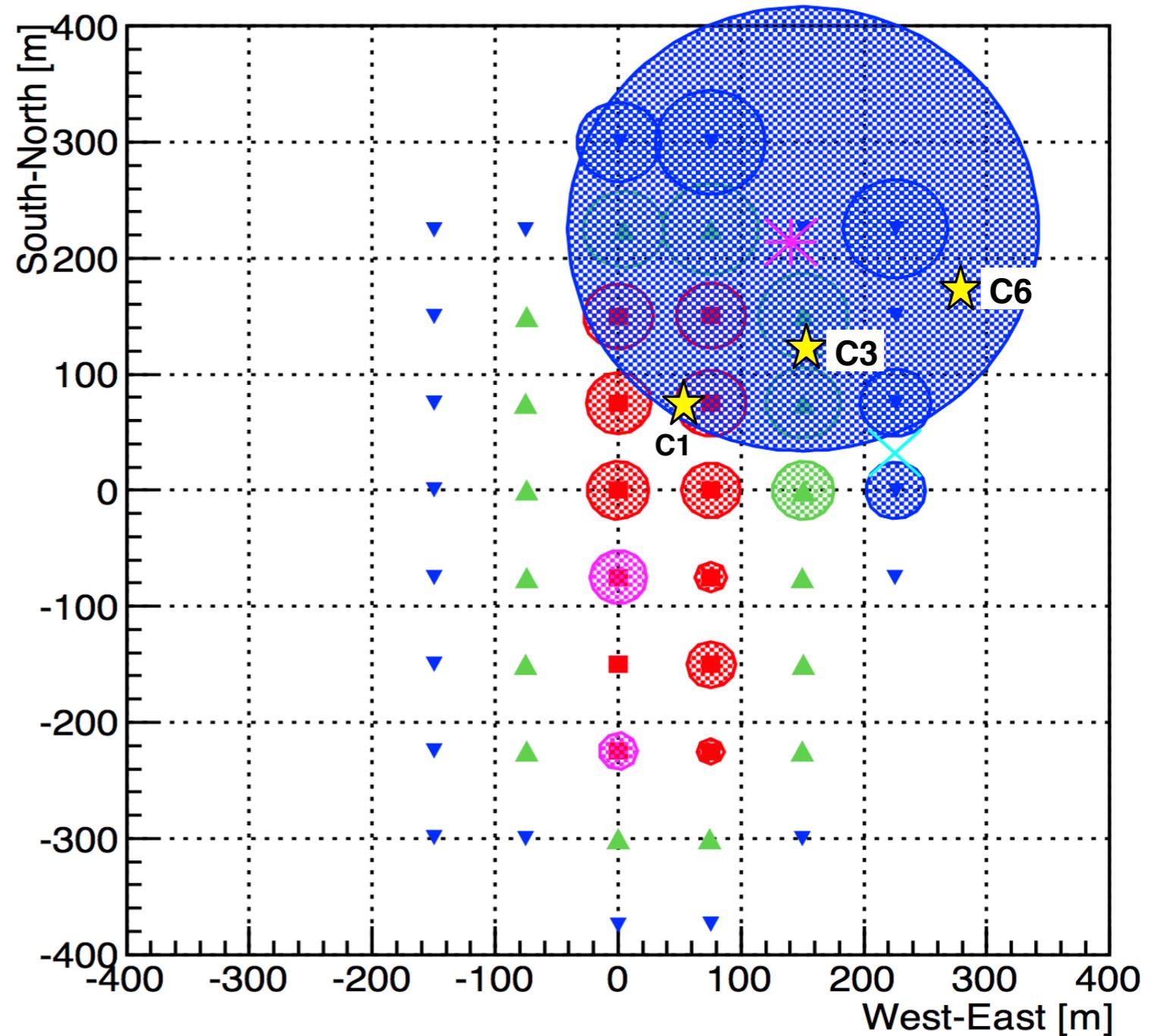


- どれもたまたま3台だけ動いていたときのイベント（動いていた検出器では全て信号検出）
- タイミング・ゲイン補正済み

# イベント例



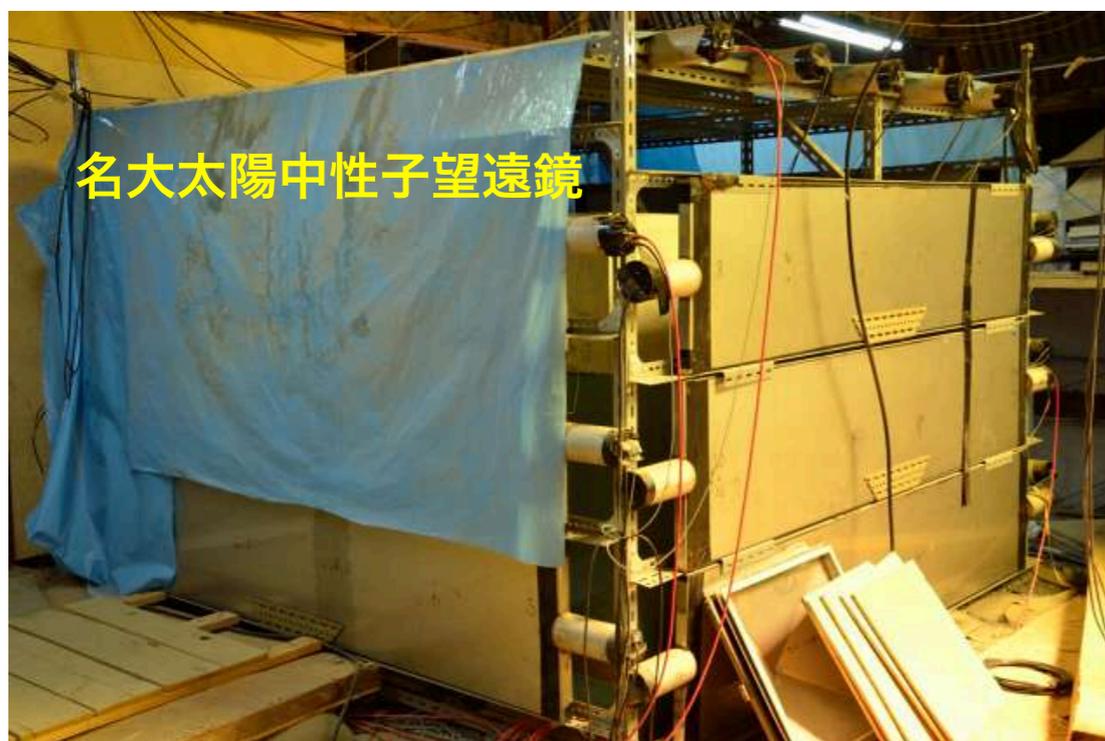
Density map: Run 31096, Event 2420



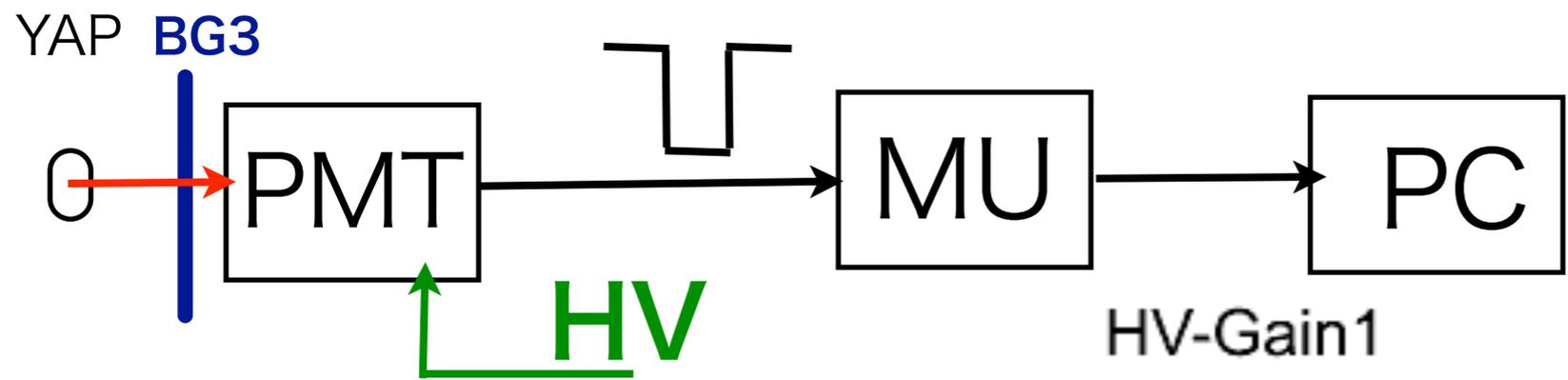
# まとめ

- チャカルタヤ山観測所：各種プロジェクト進行中
  - インターネット本格運用開始
  - オンラインモニタ
- BASJE: チェレンコフ検出器 7 台インストール
  - キャリブレーション
  - テスト観測
  - 技術論文投稿予定
  - 2012年度はいったん撤収
  - 2013年4月より観測開始

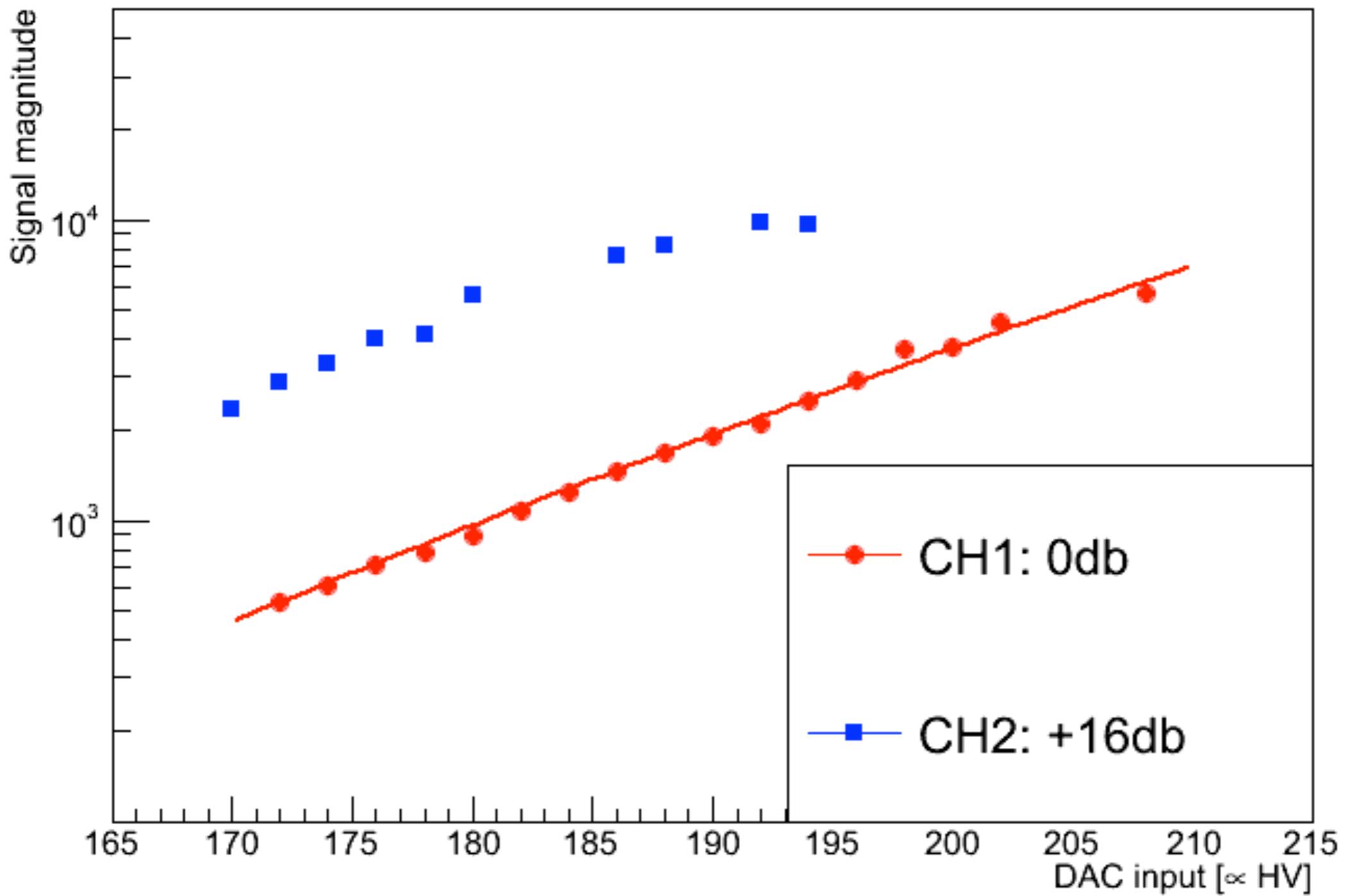
# ギャラリー



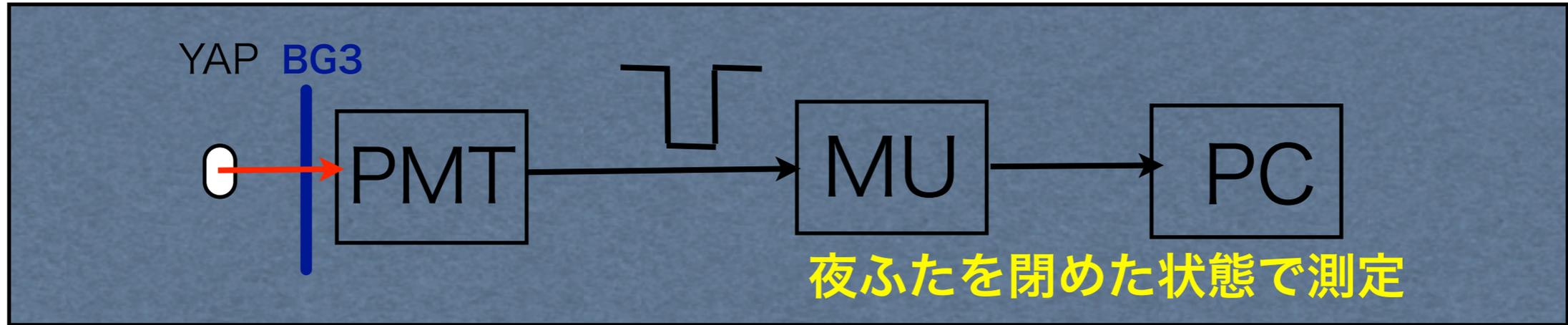
# HV-PMTゲイン関係測定 (YAP使用)



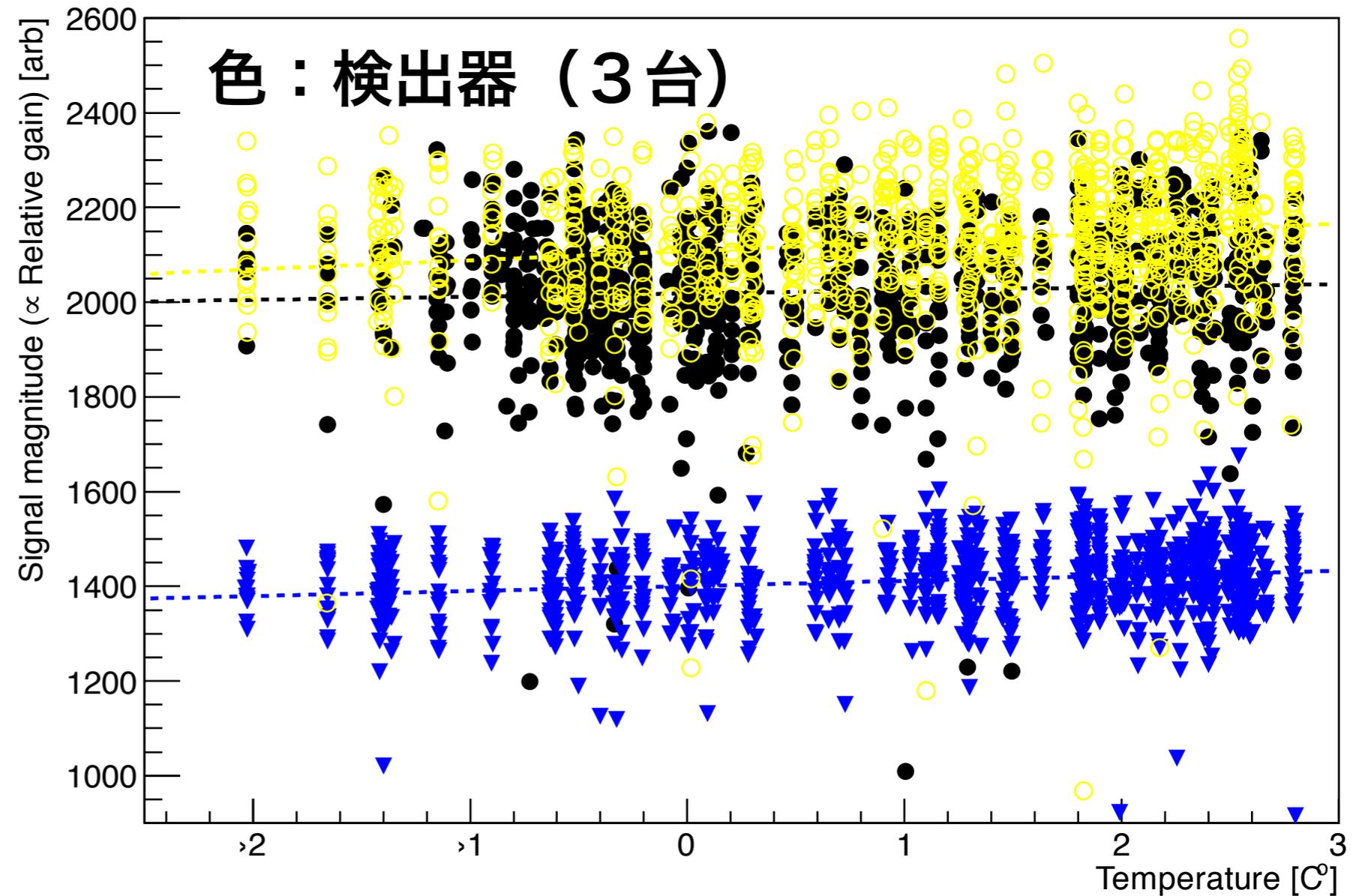
YAP: Am ( $\alpha$ 線源) にシンチを塗ったもの、4mm程度の大きさ、  
~9000photons



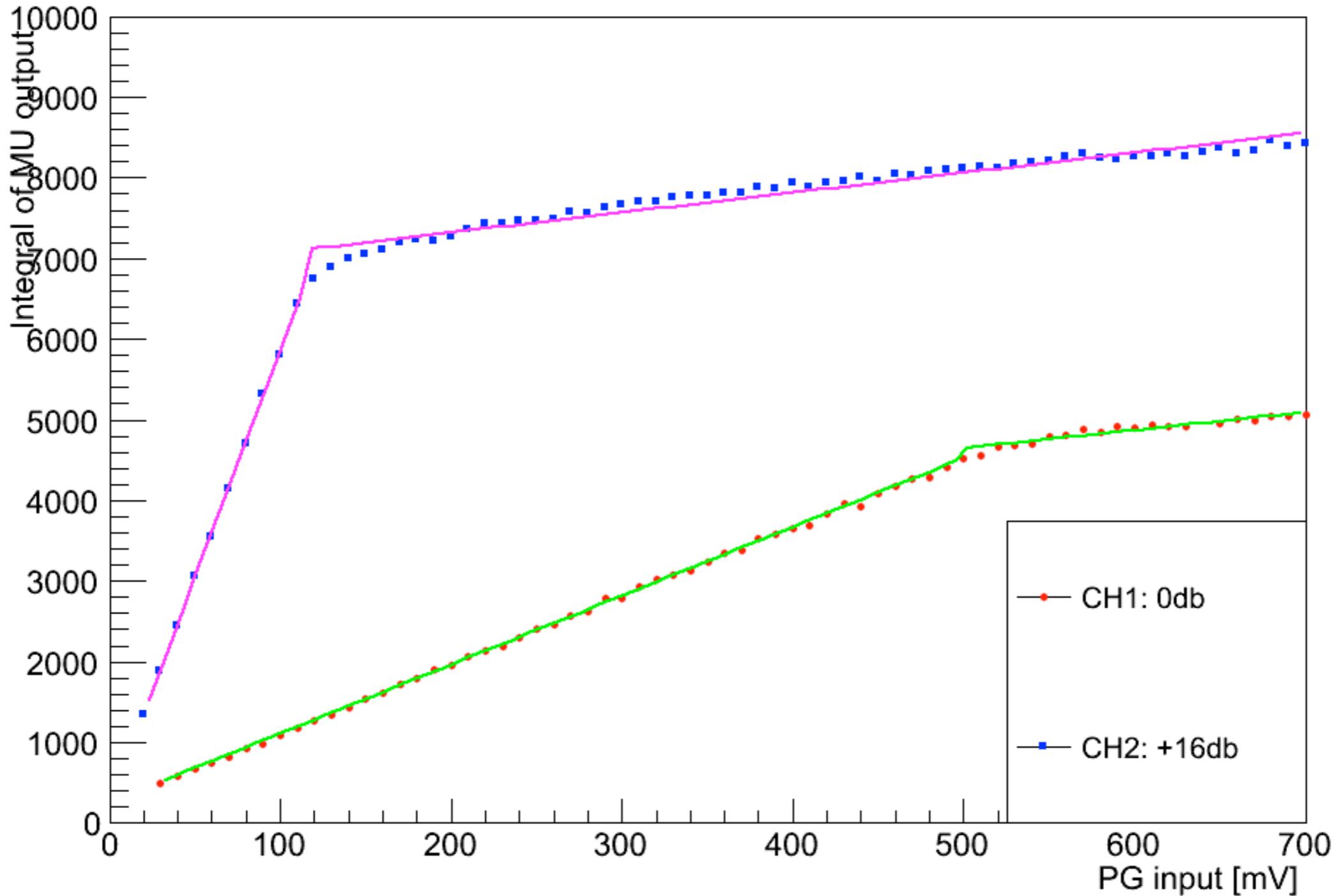
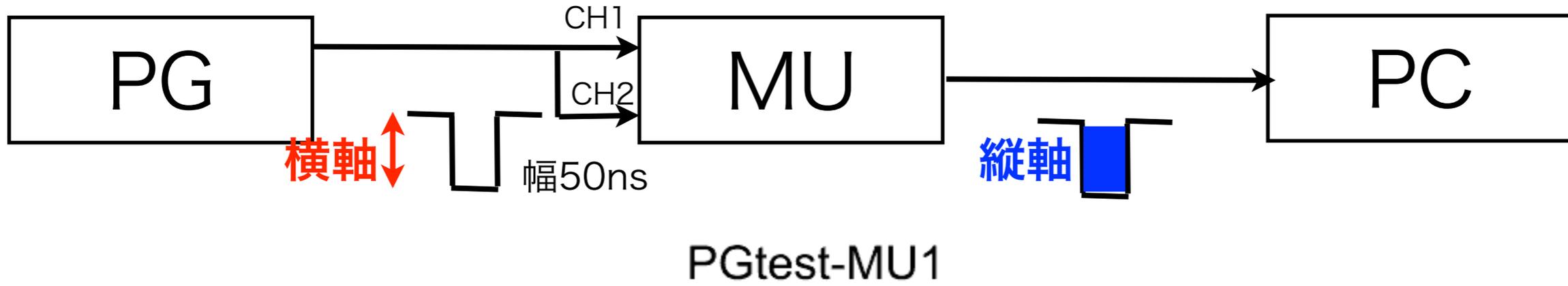
# 温度特性



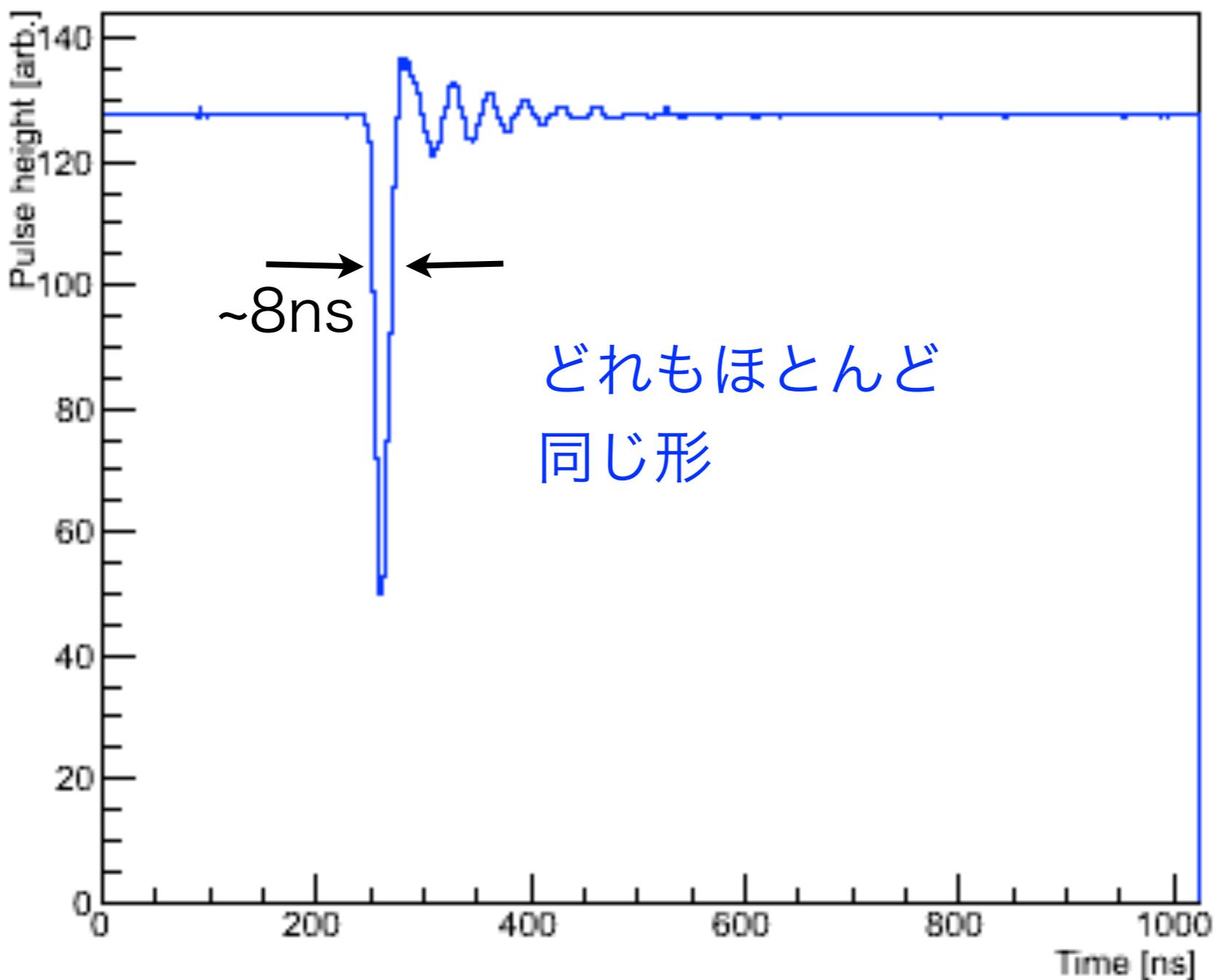
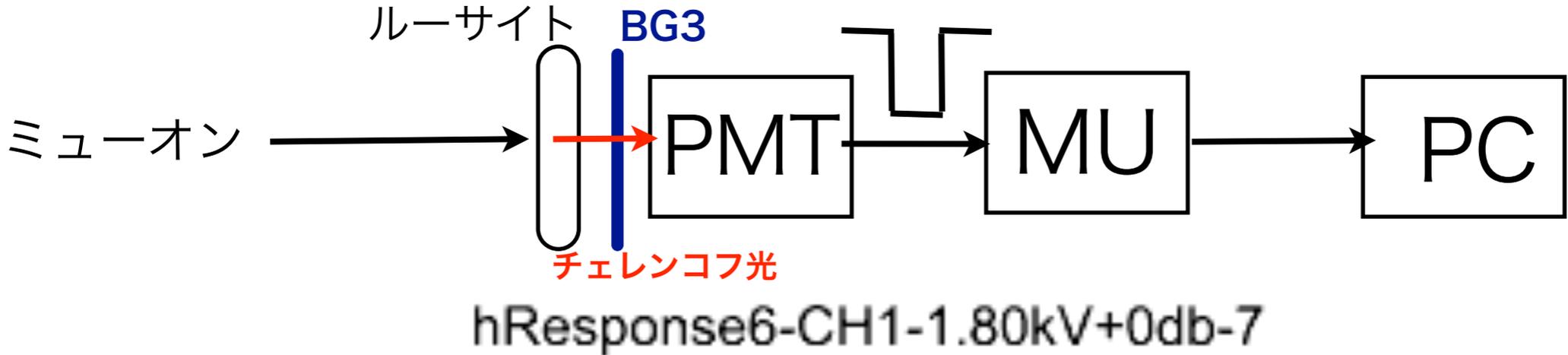
- 光源：YAP
- 観測と同じ条件で測定  
(ふたは閉じている)
- 気温は外気温で変化に  
まかせている (制御では  
ない)
- 温度係数： $\sim 1\%/^{\circ}\text{C}$



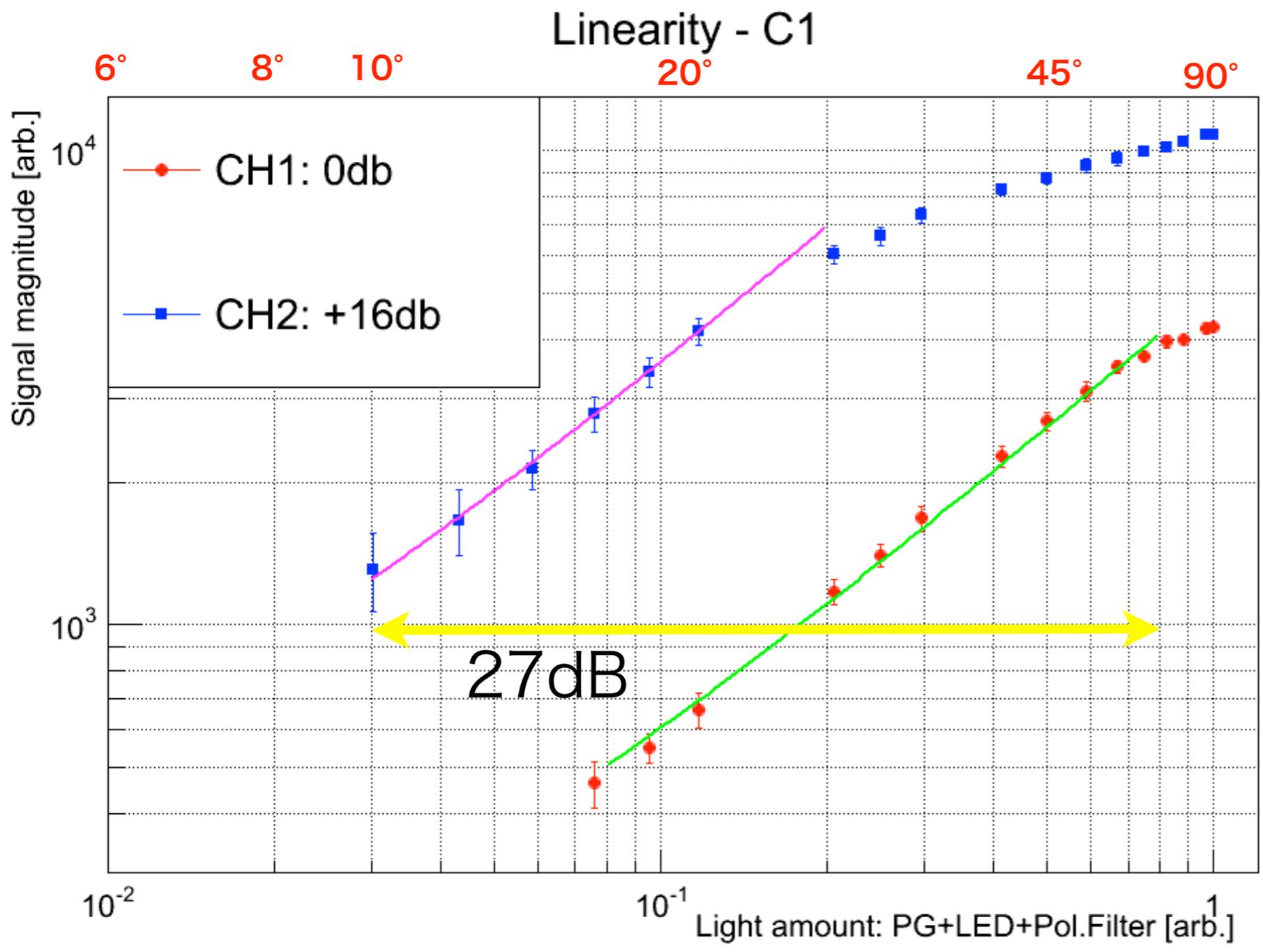
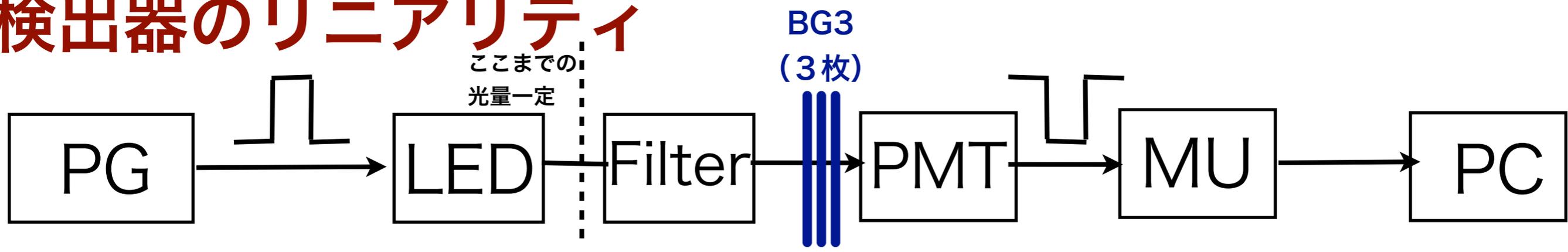
# ブレインズ測定ユニットのリニアリティ



# システムレスポンス測定



# 検出器のリニアリティ



- PG波高を変えて (LED光量を変えて) さらに低い側も測定
- ダイナミックレンジ~100