# KamLAND実験 と デッドタイムフリーDAQの寄与

17th ICEPP Symposium 2011/02/21 東北大学 ニュートリノ科学研究センター 竹本康浩

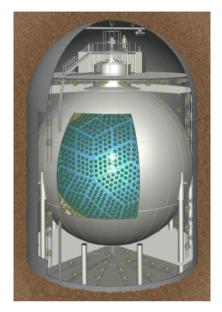
# もくじ

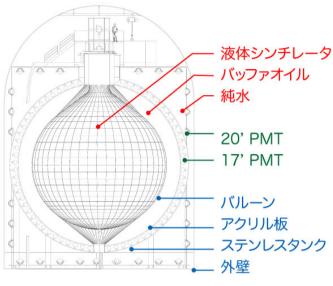
- KamLAND実験
  - > KamLAND
  - > 研究テーマ
- Ονββ実験
  - >マヨラナ性
  - > KamLAND-Zen実験
  - ▶ 10Cタギング
  - > CdWO4 調査

### MoGURA

- > MoGURA電子回路
- > DAQ with MoGURA
- > 解析

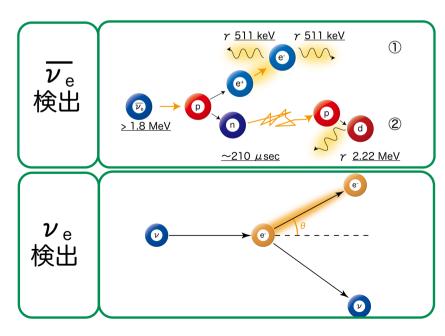
# KamLAND実験

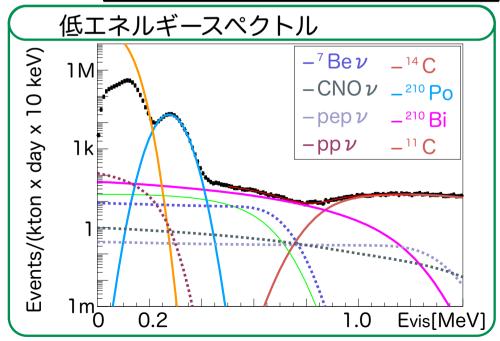




#### KamLANDの特徴

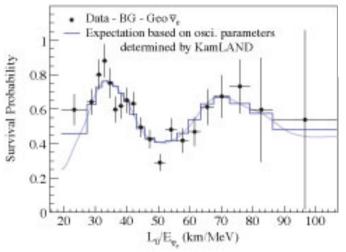
- >~250 keV への感度
  - ・ 液体シンチレータ利用
  - 宇宙線遮蔽 (10-5)
  - 放射性不純物除去
    - <sup>238</sup>U: 7.3 x 10-19 g/g
    - <sup>232</sup>Th: 1.5 x 10-17 g/g
    - $^{40}$ K < 1.5 uBq/m<sup>3</sup>
- 高分解能
  - 1000t 液体シンチレータ
  - 34% フォトカバレージ
    - 6.4%/√E MeV
    - 12cm /√E MeV





# ニュートリノ質量

・ニュートリノの有限質量の証明:ニュートリノ振動 ⇔ 素粒子標準模型 m=0



$$P(\overline{\nu}_{e}) = 1 - \sin^{2}2\theta \sin^{2}(\Delta m^{2}_{12}L/4E_{\nu})$$

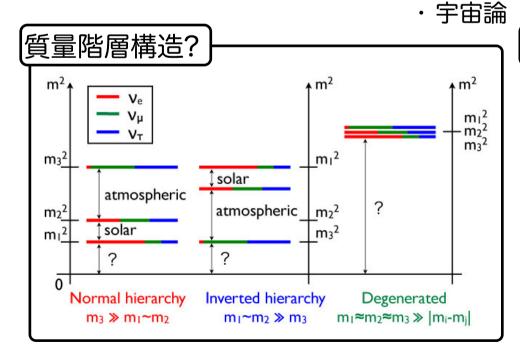
$$(\Delta m^{2}_{12} = |m_{1}^{2} - m_{2}^{2}|)$$

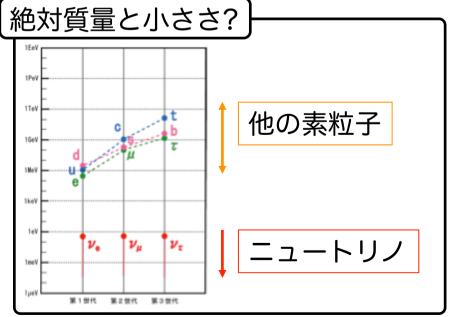
$$\Delta m^{2}_{12} = (79\pm3) \text{ meV}^{2}$$

$$\Delta m^{2}_{13} = (2.3\pm0.2)\times10^{3} \text{ meV}^{2}$$

フレーバ固有状態と 質量固有状態  $\begin{pmatrix} \nu_{e} \\ \nu_{\mu} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_{e1} & U_{e2} & U_{e3} \\ U_{\mu 1} & U_{\mu 2} & U_{\mu 3} \\ U_{\tau 1} & U_{\tau 2} & U_{\tau 3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_{1} \\ \nu_{2} \\ \nu_{3} \end{pmatrix}$ 

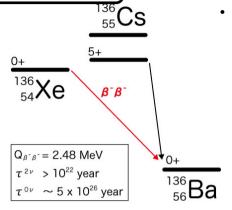
- ・質量の制限
  - ・β崩壊
  - ββ崩壊
- $m_{\nu} = (\Sigma |U_{li}|^2 m_i^2)^{1/2} < 2300 \text{ meV}$  $|\langle m_{\nu} \rangle| = |\Sigma U_{li}^2 m_i| < 650 \text{ meV}$
- $\Sigma m_i < 300 \text{ meV}$





# ダブルベータ崩壊

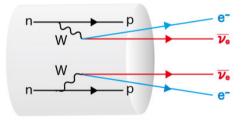
# **ββ**崩壊



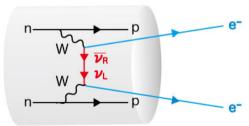
#### ・特徴

- β崩壊が禁止
- ≥ 2次の弱い相互作用> 長寿命(τ > 10<sup>18</sup> 年)

#### $2\nu$ mode

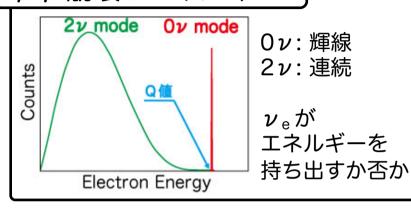


#### $0\nu$ mode



- ・0 v mode の特徴
  - ▶ 核内で反ニュートリノが対消滅する.
    - ▶ ニュートリノが出てこない
    - ▶ ニュートリノ = 反ニュートリノ
    - ▶ マヨラナ粒子

### ββ崩壊のエネルギー



### ββ崩壊を起こす同位体

同位体	Q値 MeV	半減期 (O <sub>V</sub> , 年)
<sup>48</sup> Ca	4.27	> 1.3 x 10 <sup>22</sup>
<sup>76</sup> Ge	2.04	$> 1.9 \times 10^{25}$
<sup>82</sup> Se	3.00	> 1.0 x 10 <sup>23</sup>
<sup>96</sup> Zr	3.35	> 8.6 x 10 <sup>21</sup>
<sup>100</sup> Mo	3.03	$> 4.6 \times 10^{23}$
<sup>116</sup> Cd	2.80	$> 1.7 \times 10^{23}$
<sup>124</sup> Sn	2.29	> 2.4 x 10 <sup>17</sup>
<sup>130</sup> Te	2.53	> 3.1 x 10 <sup>24</sup>
<sup>136</sup> Xe	2.47	$> 1.2 \times 10^{24}$
<sup>150</sup> Nd	3.37	> 1.8 x 10 <sup>22</sup>

# $0\nu\beta\beta$ 実験の意義

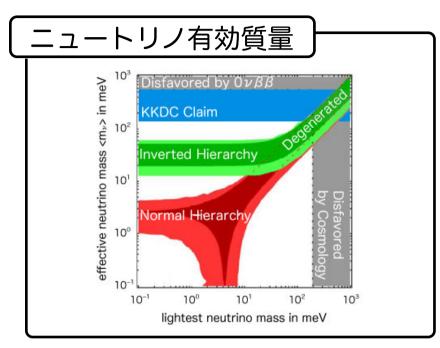
#### 0ν mode の観測

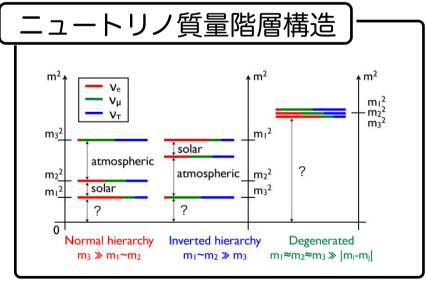
- ・これまでの実験の検証 ➤ KKDC Claim
- ・マヨラナ性の証明▶ニュートリノの理解▶物質優勢の理解

$$T_{1/2}^{-1} = G(Q_{\beta\beta}^{5}, Z) |M|^{2} < m_{\nu} >^{2}$$

⇒ ニュートリノ有効質量 ⇒ ニュートリノ質量階層構造

⇒ ニュートリノ絶対質量





# KamLAND-Zen 実験

#### 基本計画

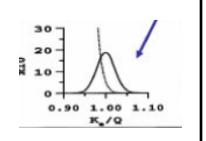
- ・400 kg の <sup>136</sup>Xe 搭載新 LS
- ・バルーンの内側にミニバルーン
- ・2011/4 ~ <mark>2 年で</mark> 有効質量 |<sub><m,></sub>| ~ 60 meV
- ・KKDC Claim, 縮退構造を検証

#### KamLAND でのメリット

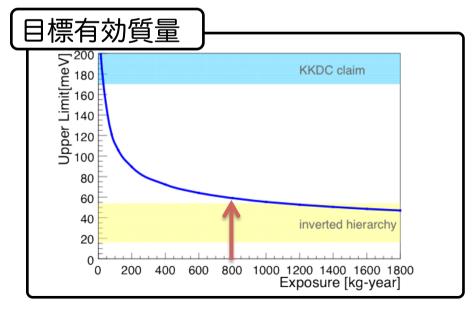
- ・実験装置を改良すれば実現
  - ·速い!!!
- ・低BGのKamLAND LSをシールドに
  - ・極低BG
- ・将来の拡張性

#### 136Xe のメリット

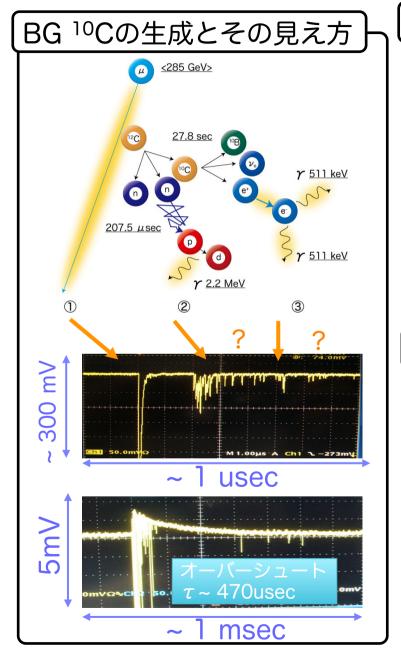
 $\tau$  (2 $\nu$  mode) >>  $\tau$  (0 $\nu$  mode)  $\rightarrow$  分解し易い.

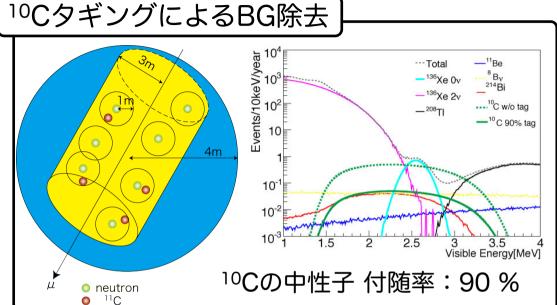


# 

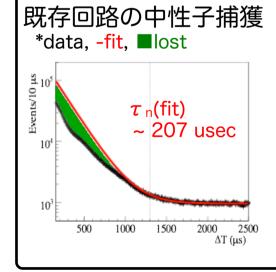


# 10Cタギング





### 10Cタギングの実現に必要なこと



オーバーシュート対策

- > 早期回復
  - ▶ 信号をADC レンジ内へ
- > 回復前後対策
  - トリガ効率低下対策

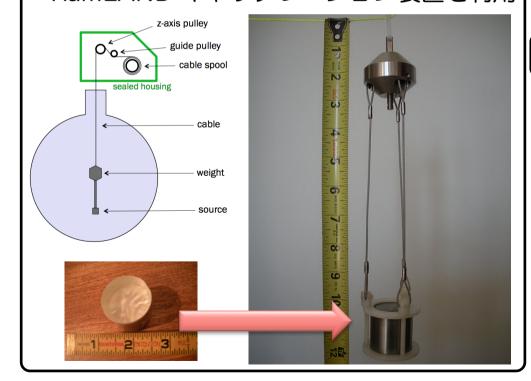
### CdWO4 with MoGURA

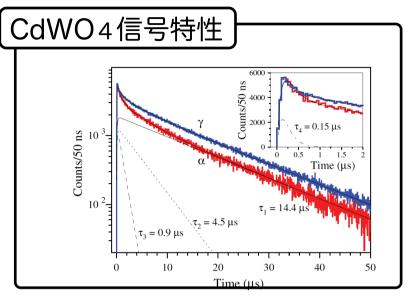
#### 基本計画

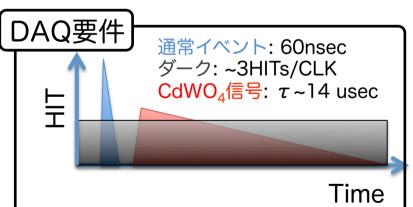
- ・~ 400gクリスタルによる実験可否調査
  - ·KamLANDで実際に可能か?
- ·~ 10kgクリスタルでの 0νββ実験
  - $|\langle m_{\nu} \rangle| : 70 \sim 140 \text{ meV}$

#### 実験装置

・KamLAND キャリブレーション装置を利用

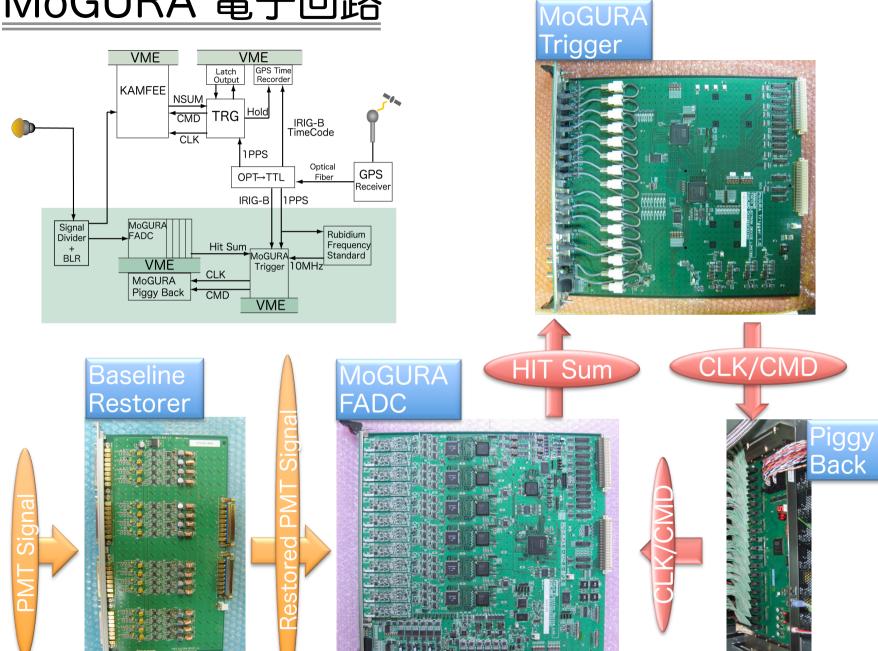






- トリガ判断のための長期HIT収集
- 波形取得のための長期トリガ発行
- 長期波形取得の実施
- 通常イベントとの区別

# MoGURA 電子回路



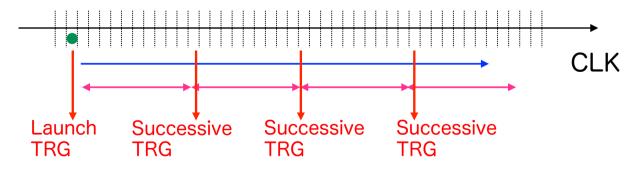
# 0νββのための機能

#### **Restoration Speed FADC-FPGA Dataflow** Amplitude [FADC Value] **FADC** Front-End FPGA System FPGA (8bit) (Spartan3 4000) (Spartan3 2000) 1 GS Ring Buffer (10 usec) Juon-like Signal with OverShoot Input 10 $\tau = 470 \, \mu \text{sec}$ MBps RTB to 0.1 mV = 2250 $\mu$ sec -FIFO -200 MS VME bus Frame Generator BLR Output Signal 16bit $\tau = 0.235 \,\mu \,\mathrm{sec}$ TRG Framed RTB to 0.1 mV = 1.37 $\mu$ sec 50MHz Data Buffer 64MB 32bit **DDR** (10 usec) **SDRAM** 50MHz 2.5 3.0 3.5 Time [µsec]

### Successive Trigger



Launch Th.[NHIT]
Successive Window[CLK]
Successive Interval[CLK]



Target: Muon

Launch Th. = 800

Successive Window = 250 (5usec)

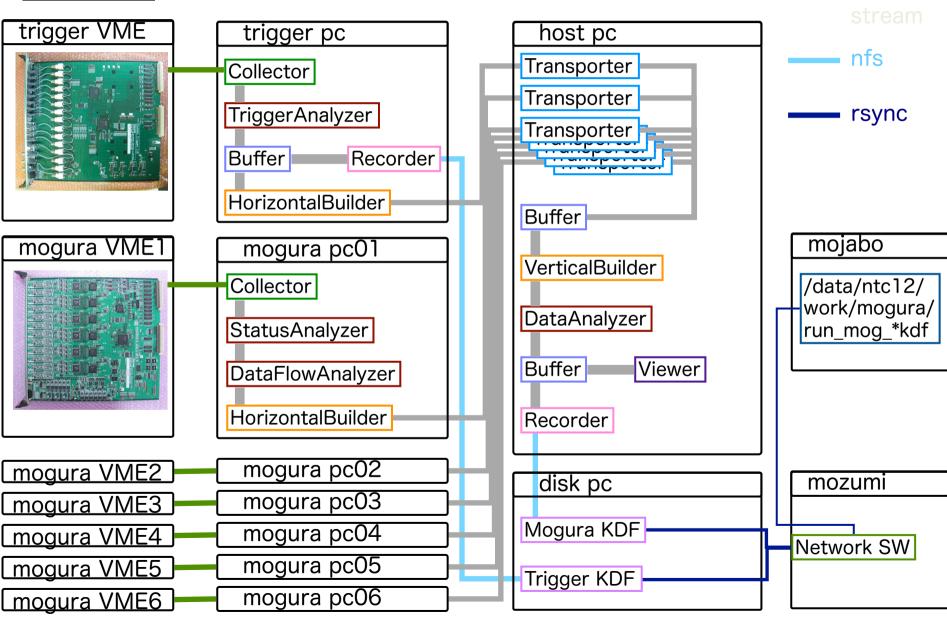
Target: Cd

Launch Th. = 2250

Successive Window = 2250 (45usec)

# DAQ Development

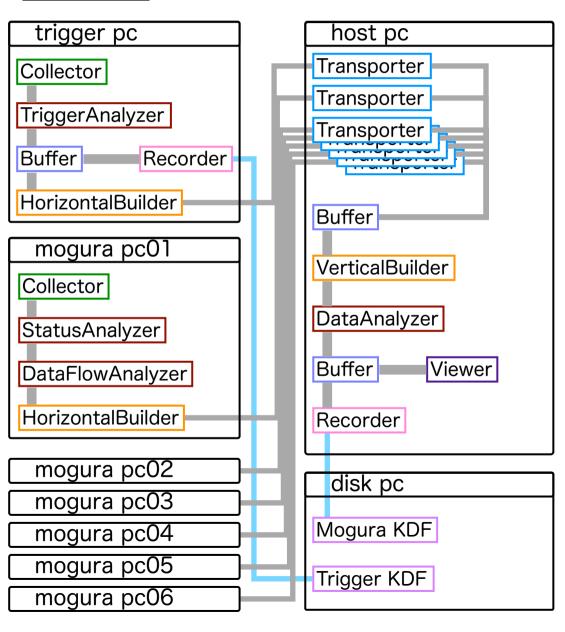
### **Data Flow**



vmedry

# DAQ Development

#### **Functions**



· Kinoko Standard Component

Collector Transporter

Recorder Buffer Viewer

Builder Component

HorizontalBuilder VerticalBuilder

- ・イベントベースデフラグメント & ソーティング
- Data Analyzer Component

#### TriggerAnalyzer

- ・データフロー、クロック
- ・簡易物理チェック

#### StatusAnalyzer

・ボードステータス

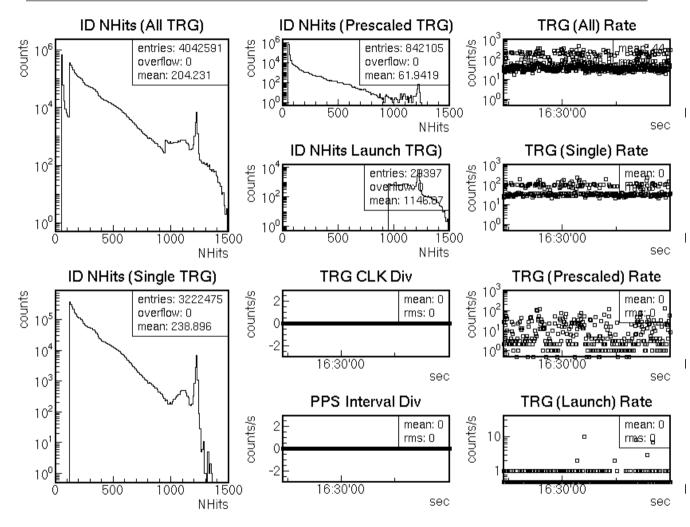
#### DataFlowAnalyzer

・データフローチェック

#### DataAnalyzer

- ・データフロー、ビルディング
- ・簡易物理チェック

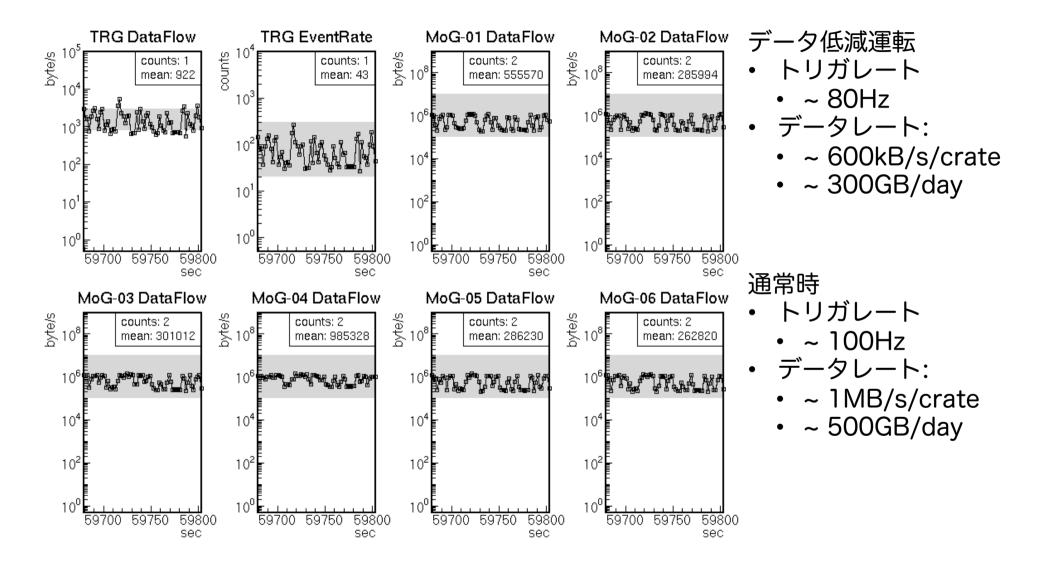
# Trigger Viewer for normal run



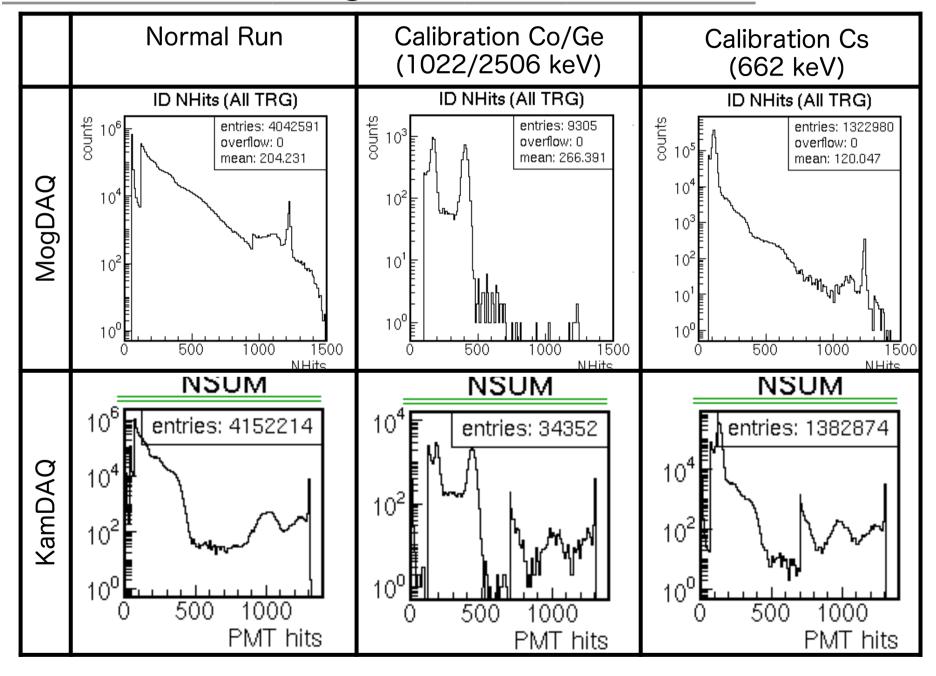
現在の運転モード: データ低減のため, 閾値を 高めに設定

- Single Threshold
  - ~ 600keV
  - (通常 ~ 350 keV)
- Prescaled Threshold
  - ~ 100keV
- Prescaled Window
  - 10 msec / 1sec
- Launch Threshold
  - ~ 5MeV
- Successive Window
  - 4usec

### **Data Flow Viewer**



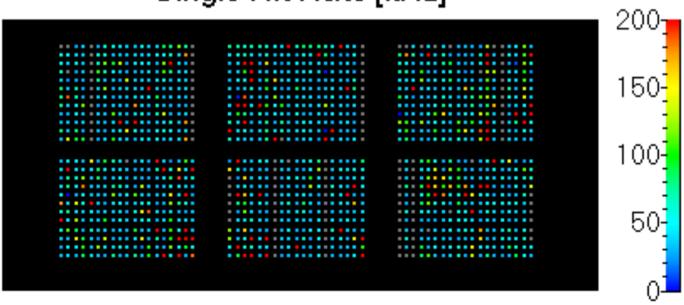
# NHIT viewer MogDAQ v.s. KamDAQ



# DAQ 状況

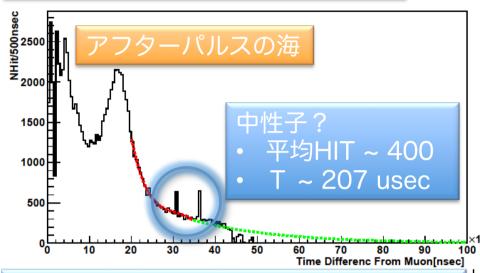
- ディスクスペース制限のため高Thresholdで取得中
- 基本的には正しくデータ収集できている
  - > ただ. . .
    - ◆ FPGAバグのため、一日あたり4つ程度にランが細分化
    - ◆ FPGAバグのため、データフレーム構造に異常が発生
    - ◆ FPGA剥離?の修理調査のため、チャネル数が不足
      - ⊙ 継続して問題修正中

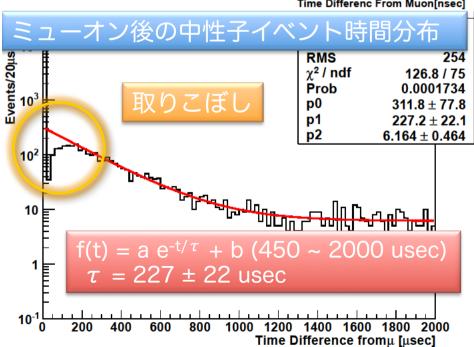
### Single Hit Rate [kHz]



# 中性子全数確保への道の最初

#### 典型的なミューオン直後のHIT分布





#### 既存DAQでの通常のイベント再構成方法

- 1.同一トリガのチャネルごとのTQ取得
- 2. 1.で得られたTQからのイベントのvertex energy 再構成

#### 新DAQでのミューオン後のイベント再構成方法

- 注. 同一トリガで取得されたチャネル間に 物理的意味は薄い
- 1. 隣接するトリガに含まれるチャネル群から再構成を行う範囲を選択
- 2. 再構成選択されたチャネルのTQから イベントのvertex, energy再構成
- 3. 再構成クオリティ(badness)による 選択の評価

#### 中性子イベント選択スタディ

#### 手法:

- 1. fit(左上赤, 緑)からの突出部を選択
- 2. 突出部のQ(HIT)によるCut
- 3. 残ったイベントの中性子時定数によるfit 結果:

アフターパルス群からの抽出不足

# まとめ

- 0νββ実験
  - > KamLAND-Zen
    - ◆ 2011/春 ~
    - ◆ 目標
      - ⊙ 有効質量:60 meV
      - KKDC-Claimの検証
      - ⊙ 縮退構造の制限
    - ◆ 状況
      - ⊙ 実験準備
  - > CdWO4
    - ♦ テスト: 2011/03
- DAQ
  - > 電子回路
    - ◆ ハードウェア
      - ⊙ 開発完了
      - ⊙ チャネル数が不足中
    - ◆ FPGA
      - ◎ Front-end FPGA 改良中
  - > DAQ
    - ◆ 継続取得中
- 中性子全数捕獲
  - ◆ アフターパルスからの抽出不足