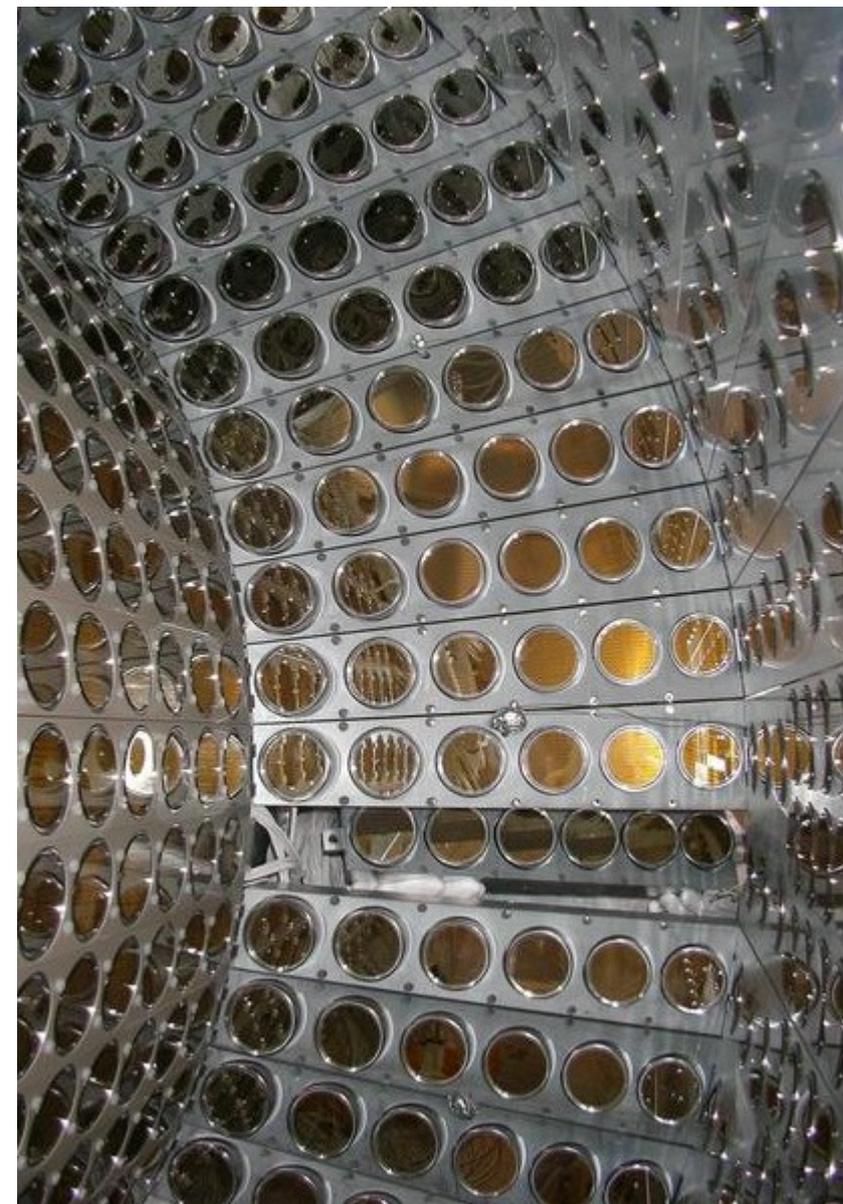


MEG 2008 データ解析 : 液体キセノン検出器

日本物理学会2009年秋期大会
@甲南大学岡本キャンパス
10/September/2009



内山 雄祐
他 MEGコラボレーション



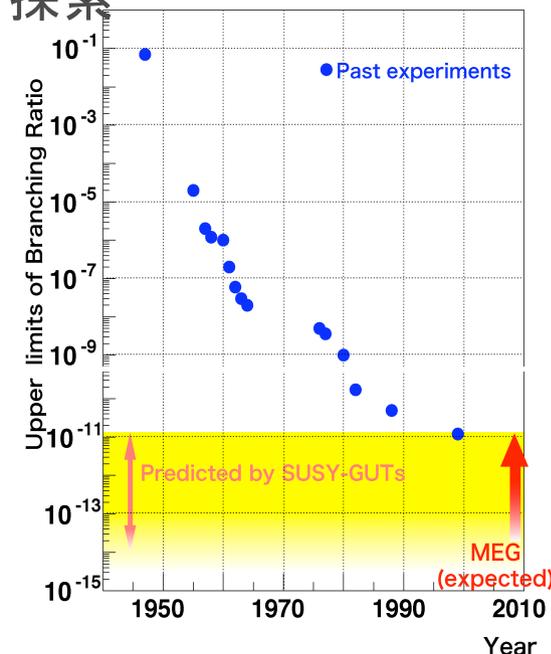
- $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$ 探索の解析方法を確立し、2008年データを用いた物理解析を行った。ここでは液体キセノン検出器を用いたガンマ線測定の解析について手法・結果を報告する。

Contents

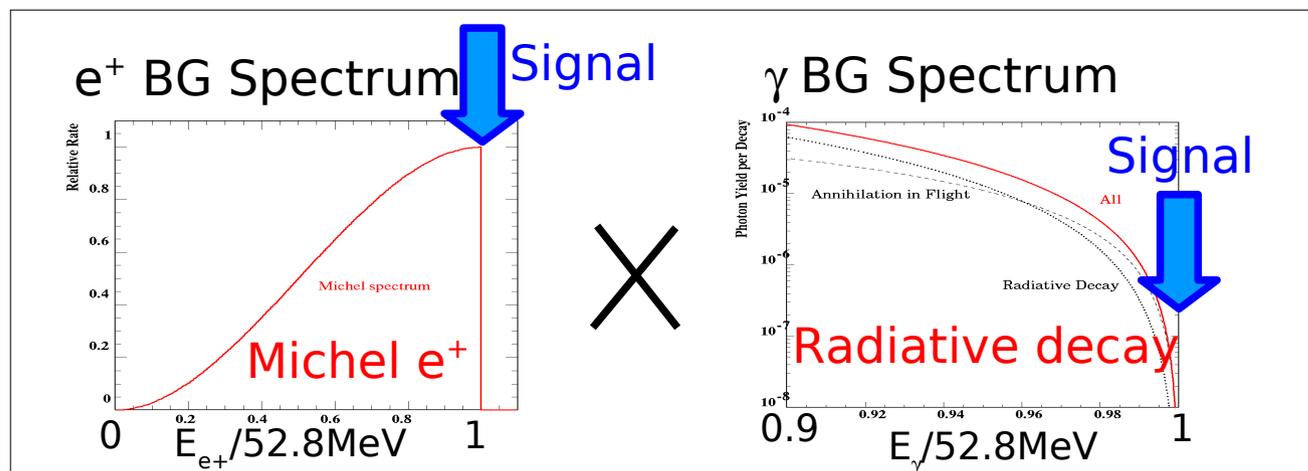
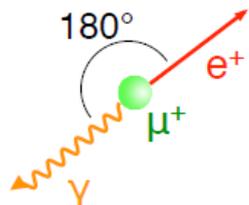
- イン트로
- 目的と問題点
- 位置測定
- エネルギー測定
- 時間測定
- バックグラウンド
- 検出効率
- 系統誤差
- 結論

- Lepton-flavor保存を破る μ 粒子の崩壊 ($\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$) を探索
 - SMを超えた新しい物理の突破口
- 現在の実験上限値は : $\text{Br}(\mu \rightarrow e \gamma) < 1.2 \times 10^{-11}$
 - 多くのnew physicsがすぐそばに分岐比があると予想
- MEGでは $\sim 10^{-13}$ の感度での探索を目指す
- $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$ 信号 : 陽電子とガンマ線 (2体崩壊)
 - 両方共52.8MeV(単色)、back-to-back、time coincidence
 - Background : 無関係な陽電子と γ 線が偶発的に重なったaccidental BGが主

$\mu \rightarrow e \gamma$ search history

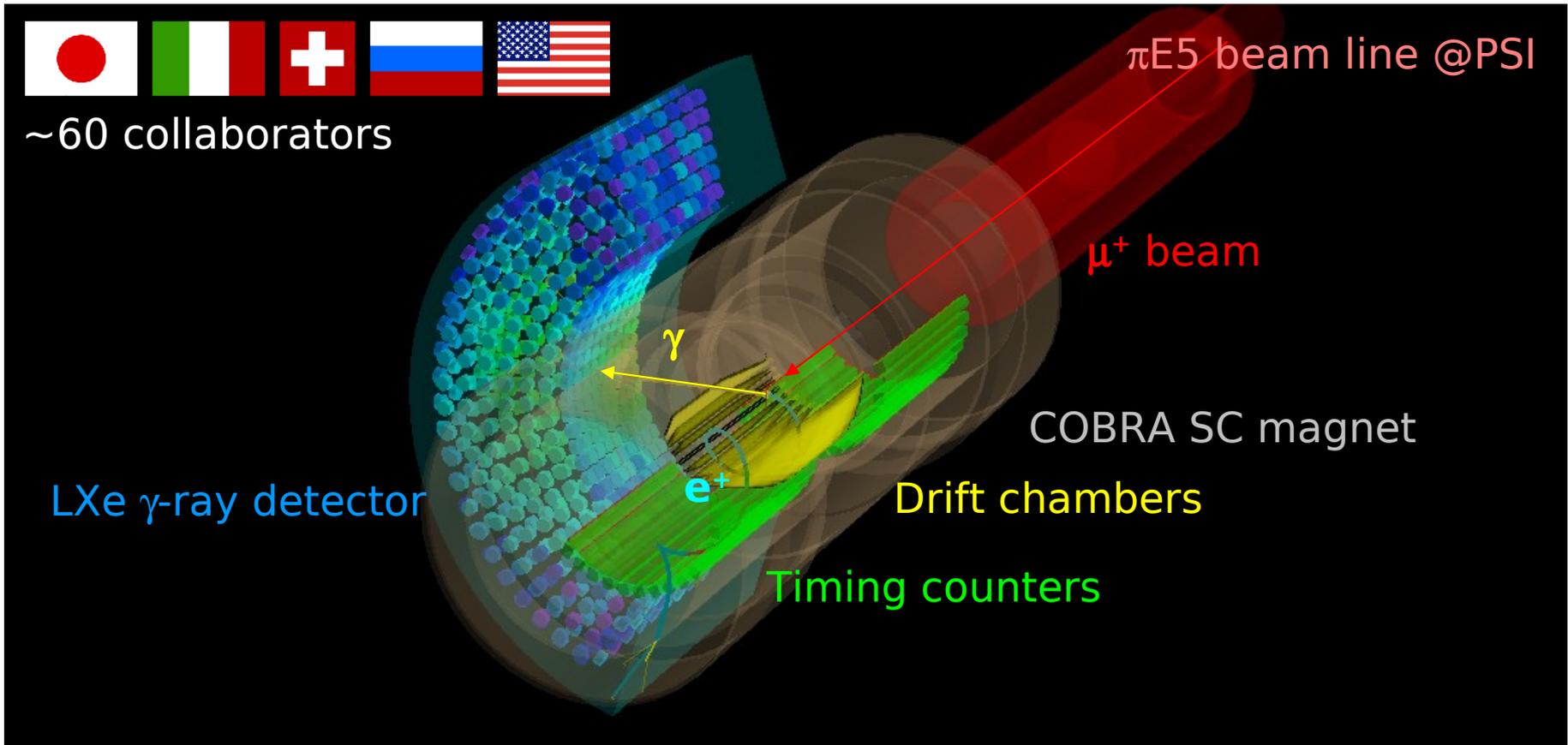
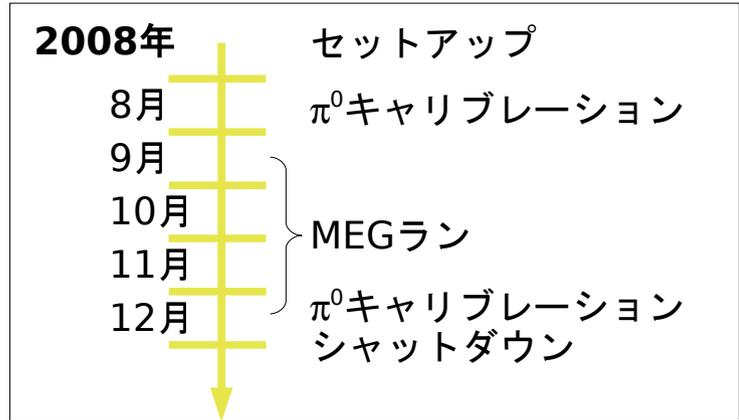


signal



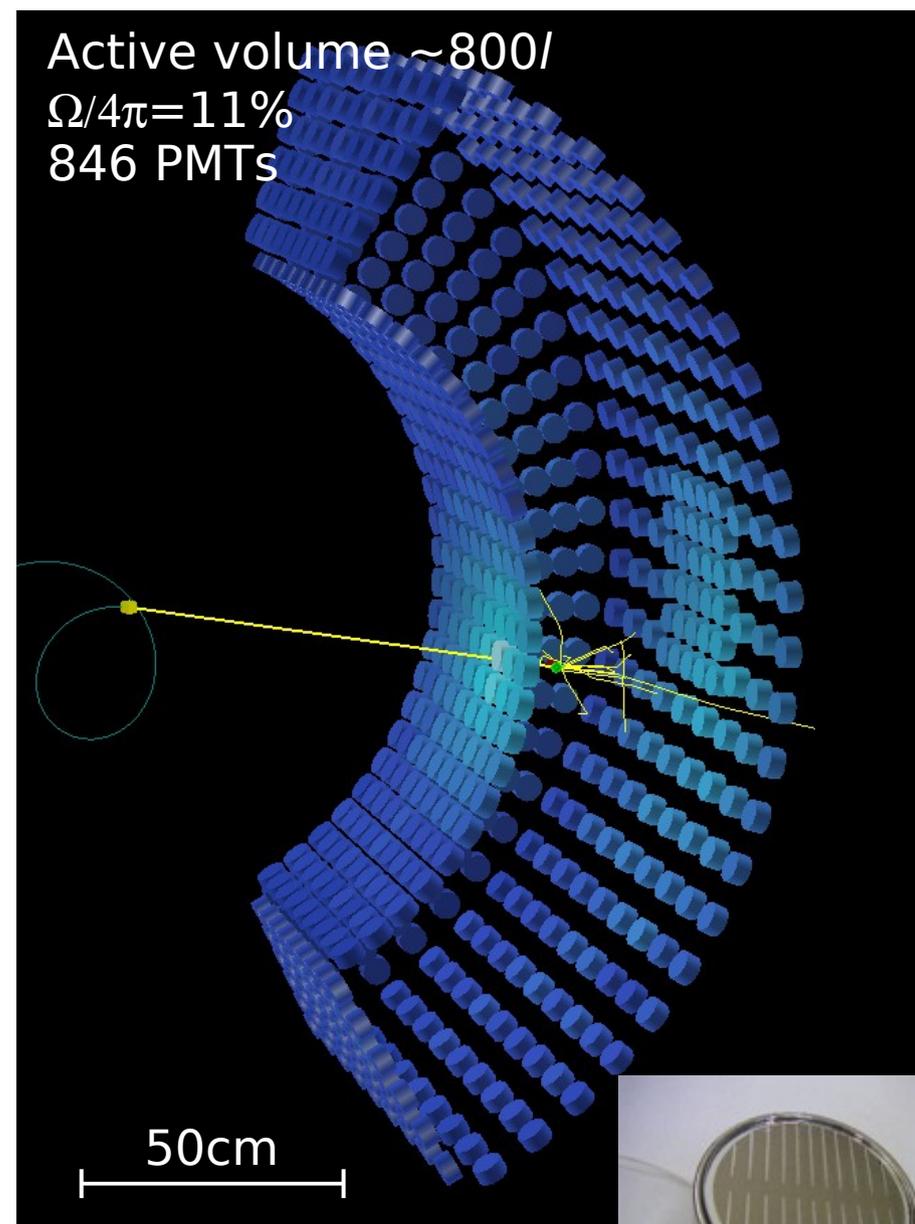
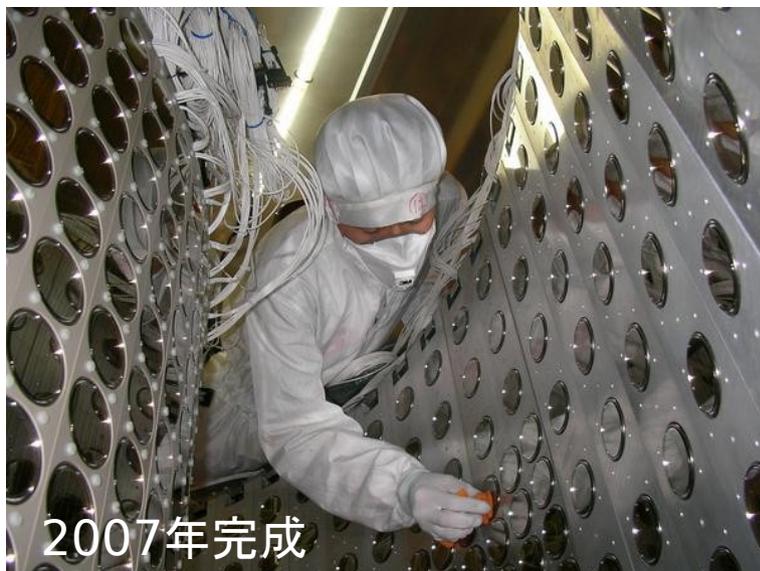
MEG実験

- 世界最大強度のDC μ^+ ビーム @PSI (スイス)
- MEG検出器
 - 陽電子スペクトロメータ →次のトーク
 - 液体キセノン ガンマ線検出器
- 2008年秋、本格的な物理データ収集を開始.



液体キセノン検出器

- 900リットル液体キセノン
 - シンチレーション媒体
 - 高い発光量 (NaI(Tl)の75%)
 - 早い応答 ($\tau_{\text{decay}} = 45\text{ns}$)
 - ガンマ線阻止能力 ($X_0 = 2.8\text{cm}$)
 - 自己吸収無し
 - 挑戦
 - 真空紫外光 (178nm)
 - 低温 (165K)
 - 高純度

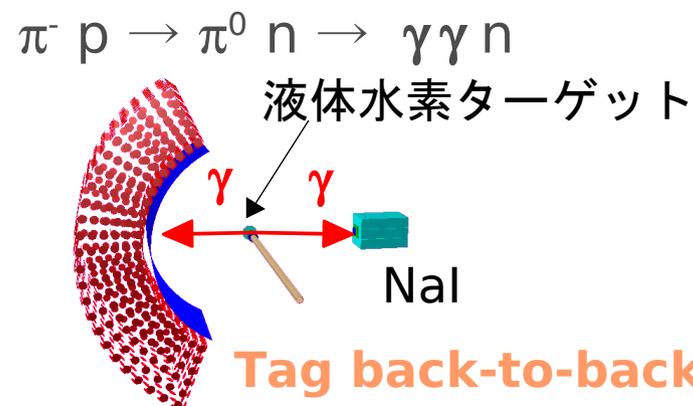


キャリブレーション方法

π^0 崩壊からの55MeV 高エネルギーガンマ

- 位置、時間、エネルギー分解能の評価
- エネルギースケールの決定
- μ^+ と同じビームライン
- セットアップに時間がかかる(~5日間)
 - 夏と冬、本実験の前後に行った.
- 本実験よりもBGが多い.

($\mu \rightarrow e\gamma$ シグナルは52.8MeV)



Li(p, γ)Be 反応からの17.6MeVガンマ

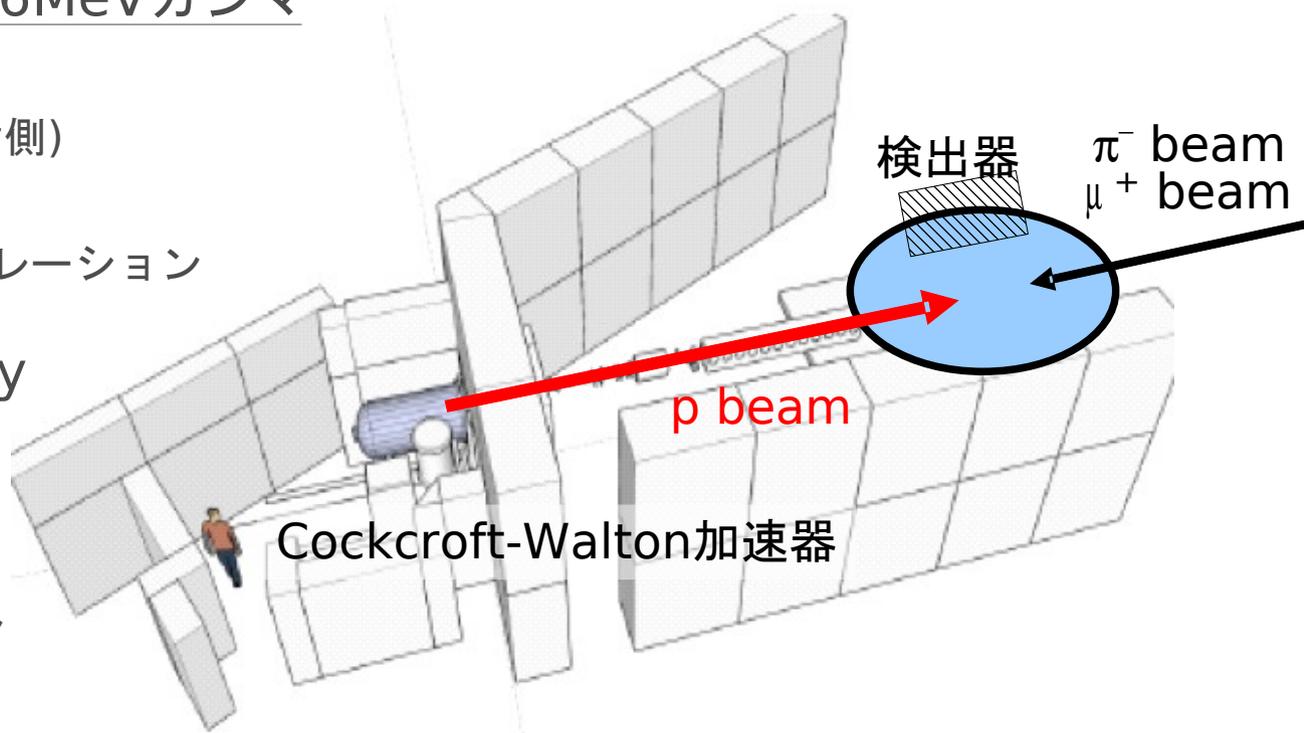
- 1/3のエネルギー
- 独自のpビームライン(反対側)
- 切り替えが簡単(~20分)
- 週3回の定期的なキャリブレーション

μ 粒子のradiative decay

- 時間のキャリブレーション

LED, アルファ線源

- PMTのキャリブレーション

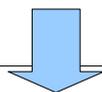


問題点(前回の学会での発表時)と課題

- 分解能がまだ良くない.
 - $\sigma_E \sim 2.3\%$, $\sigma_t = 100\text{ps}$, $\sigma_{xy} \sim 5.2\text{mm}$
- 見積りの際のuncertainty
- エネルギースケール ($\sim 5\%$ uncert.)
- 低いefficiency ($\varepsilon_\gamma \sim 30\%$)
 - 浅いイベントを使わない
 - パイルアップイベント棄却

Instability

- PMT gain
- Rate dependent shift
- エイジングによるゲインの減少
- 純度の変化 (回復)
 - 光量の増加
 - 波形の変化



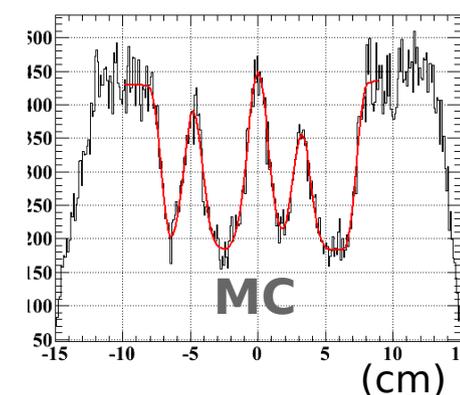
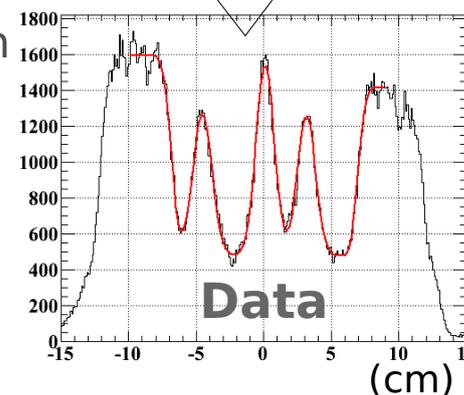
- 精度よく再構成 (再構成アルゴリズム、キャリブレーション)
- レスポンスを正確に求める → Likelihood analysis の p.d.f.
 - 場所やイベント毎
 - 分解能がよくない領域でもレスポンスを正確に求めて使う.
 - Efficiencyの回復
 - Systematic uncertaintyを減らす.
- バックグラウンドを理解する
- Efficiencyを求める
- Systematic uncertaintyを見積もる

位置測定

- 再構成方法：光量分布を立体角によりフィット.
- データを用いた分解能の評価

- 鉛ブロックを用いた π^0 ラン
- スリットの影から分解能、バイアスを測定
- 結果
 - $\sigma_{xy} = 4.5 \sim 5\text{mm}$, bias(RMS) = 0.7mm
 - MCとの比較:
 - Systematicを減らす.
 - MCより1.8mm 悪い分解能
 - QE測定の誤差の影響

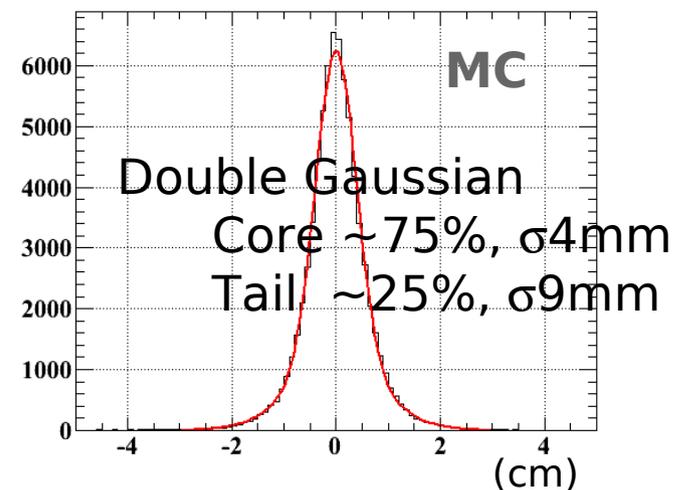
project



- MCを用いたレスポンスの詳細
 - dataとの違いを考慮.
 - PMTとの相対的な位置による分解能の変化
 - レスポンスの形
 - Double Gaussian

$$\sigma_{xy} \sim 5\text{mm}$$

(場所依存)

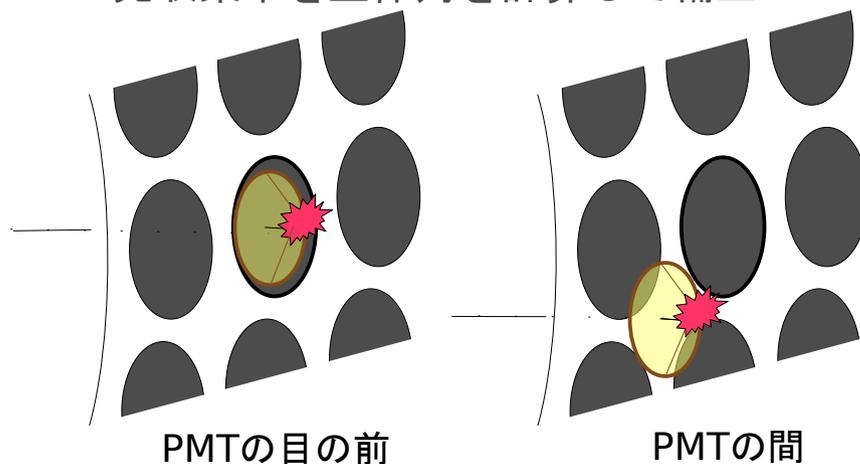


再構成方法

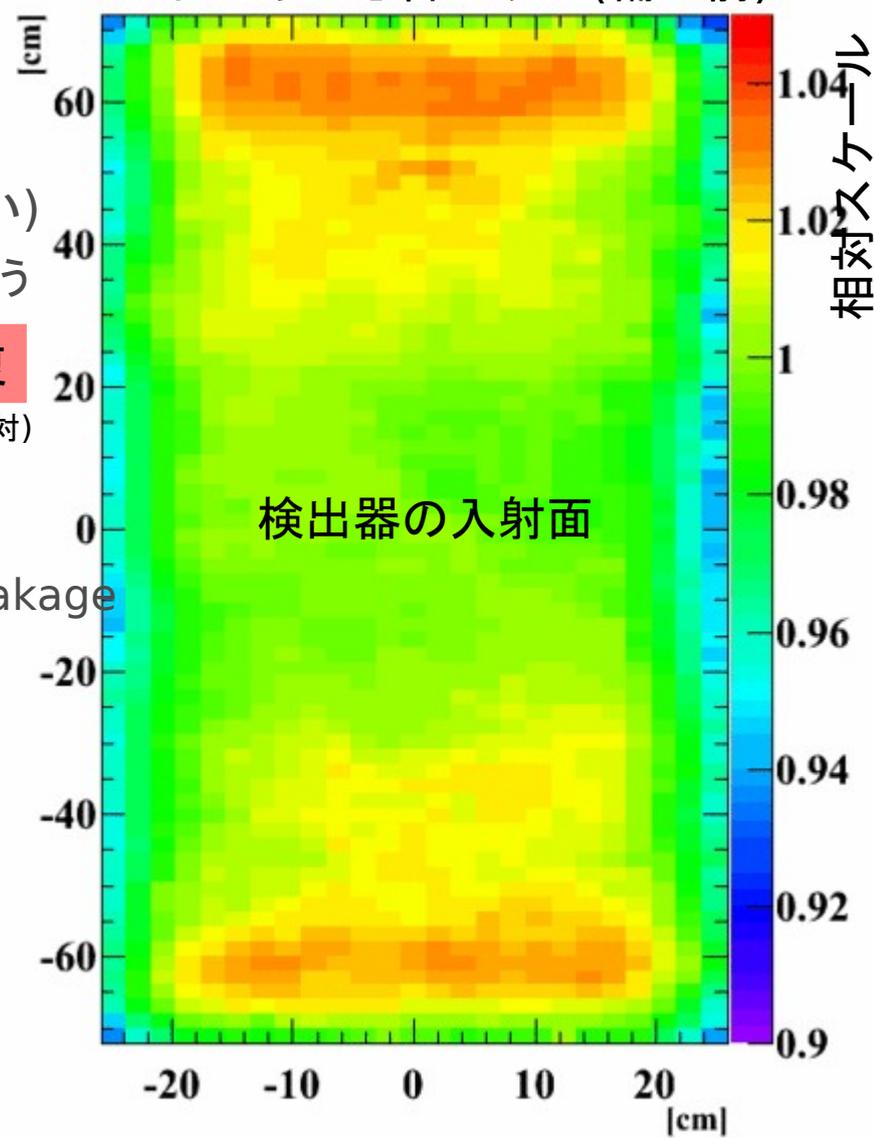
- PMT光量の和
- 光電面のcoverageで重み付け
- 非一様性の補正(場所による光収集率の違い)
 - Li(p, γ)Be 反応からの17.6MeVガンマを使う
 - 一様に検出器を照らす.
- 浅いイベントの回復
 - 浅いイベントは分解能が悪い
 - Shower escape
 - 光収集率の大きなバラツキPhoton leakage
 - 信号の飽和(エレキのdyn.range)
 - Efficiencyを稼ぐために使いたい.
 - 信号の飽和を波形を使って回復
 - 光収集率を立体角を計算して補正

$\epsilon \sim 30\%$ 回復

(相対)



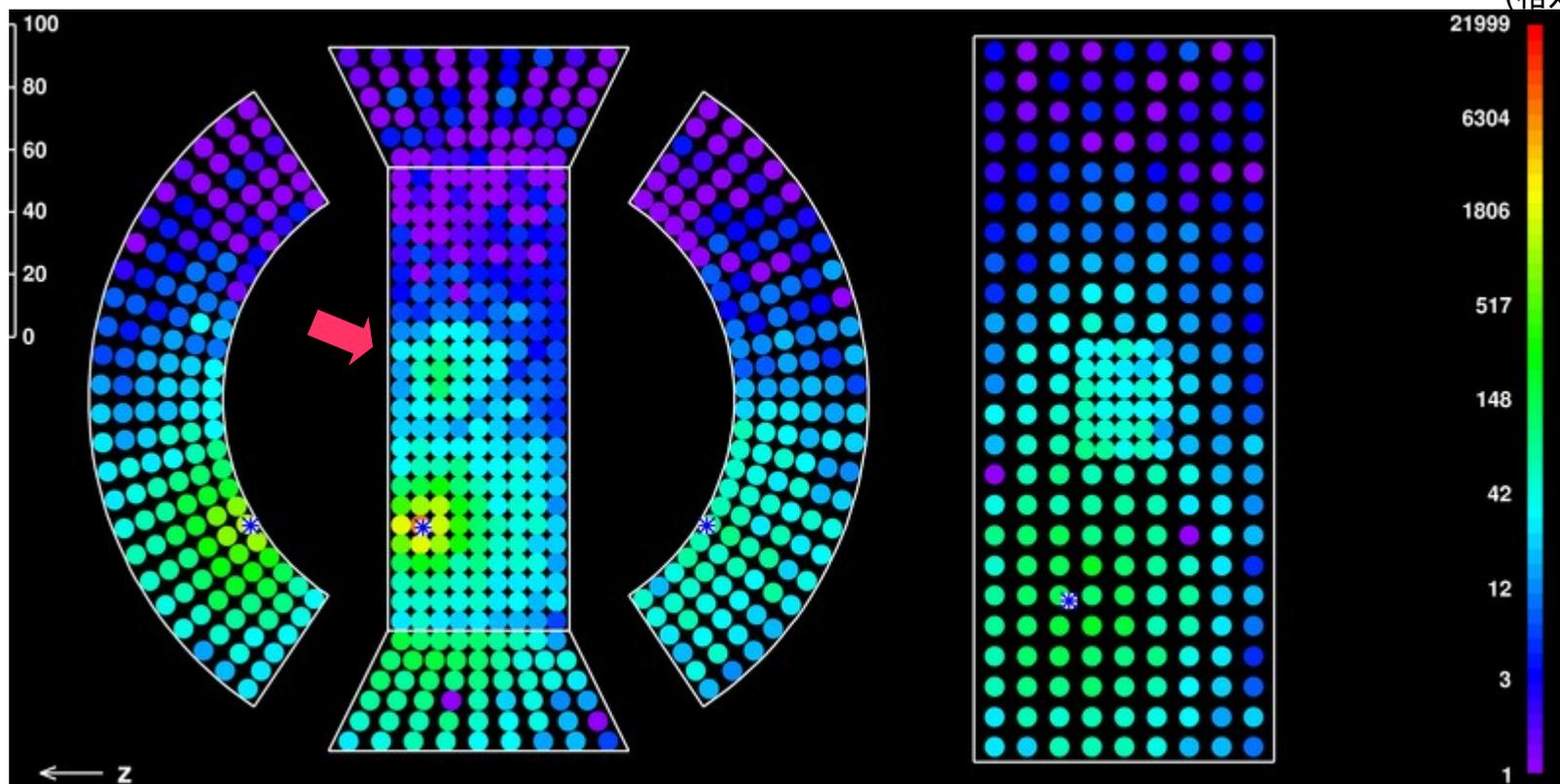
エネルギー応答マップ(補正前)



エネルギー測定 II

- パイルアップイベントの回復
 - パイルアップイベントを棄却せず、分離して使う.
 - efficiencyの向上

$\epsilon \sim 8\%$ 回復
(相対)

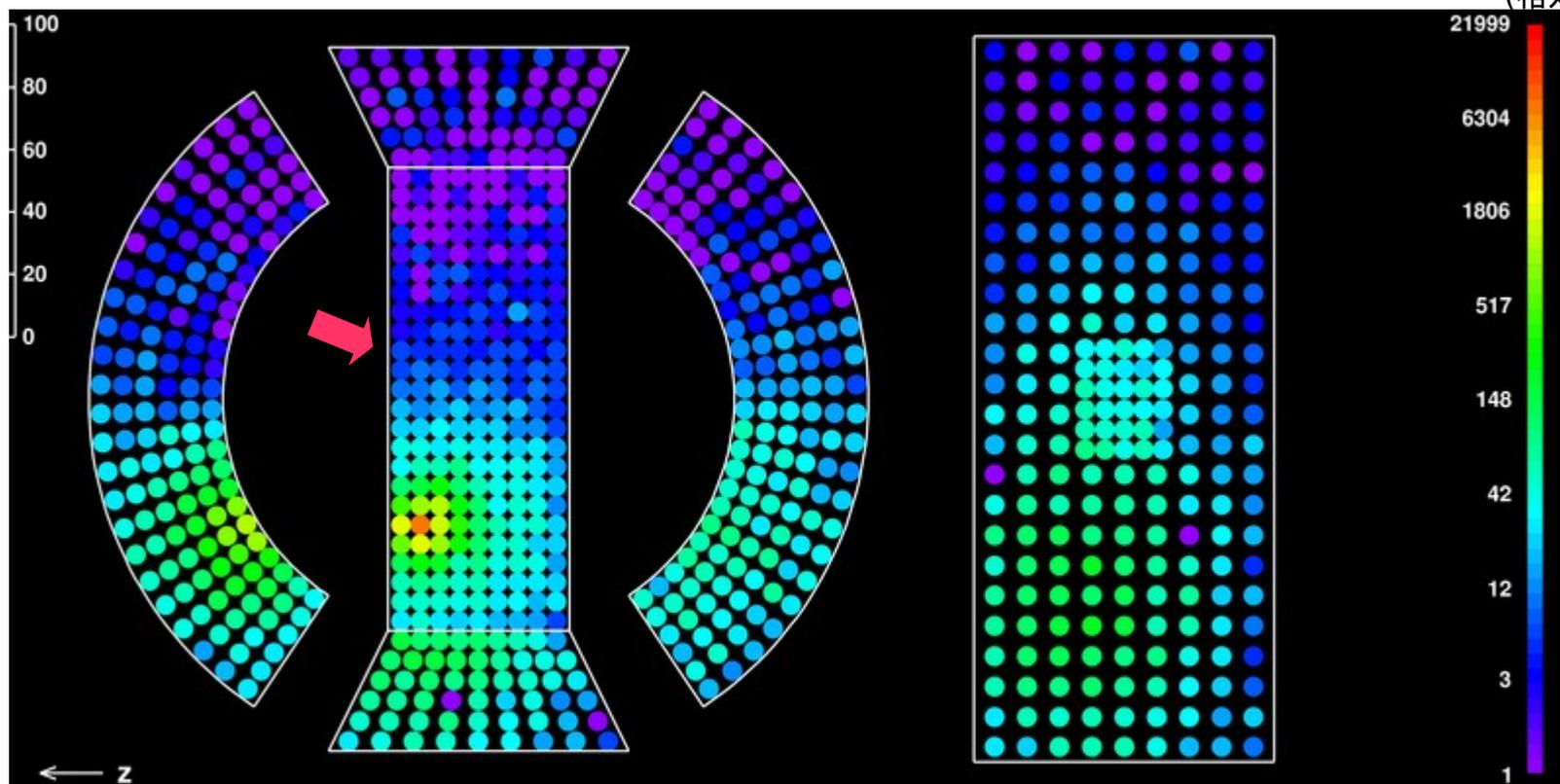


- パイルアップをID → パイルアップの影響しない領域でエネルギーを再構成 → パイルアップ領域の光量を見積もりで置き換える → 通常の再構成.

エネルギー測定 II

- パイルアップイベントの回復
 - パイルアップイベントを棄却せず、分離して使う.
 - efficiencyの向上

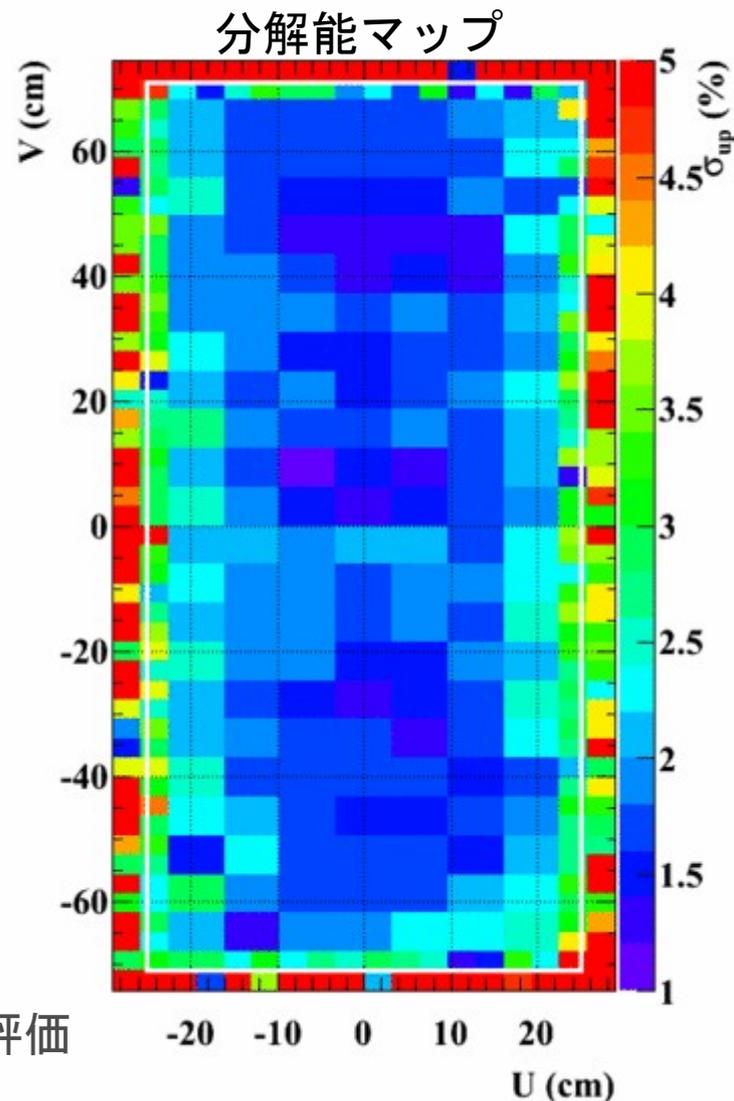
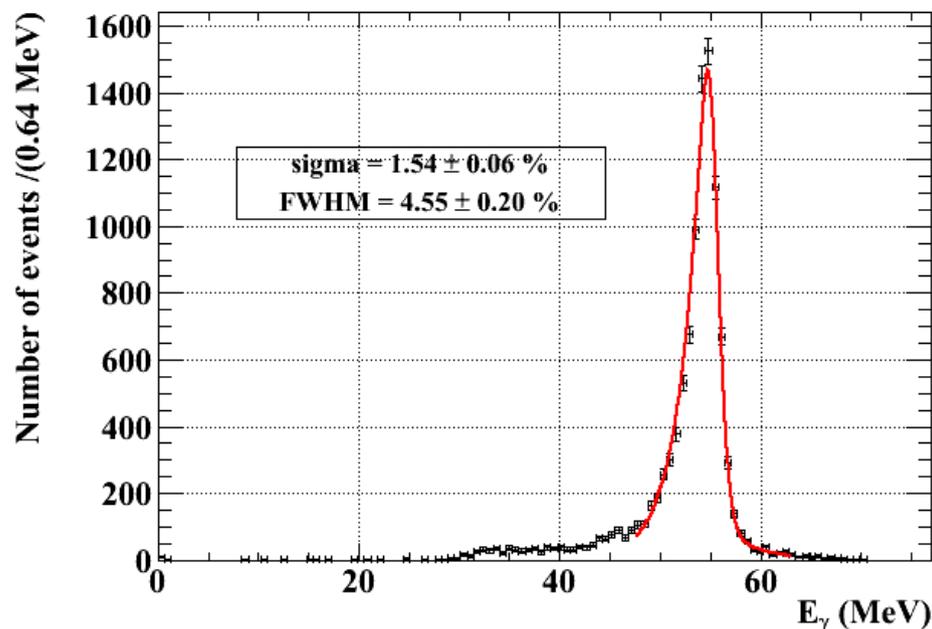
$\epsilon \sim 8\%$ 回復
(相対)



- パイルアップをID → パイルアップの影響しない領域でエネルギーを再構成 → パイルアップ領域の光量を見積もりで置き換える → 通常の再構成.

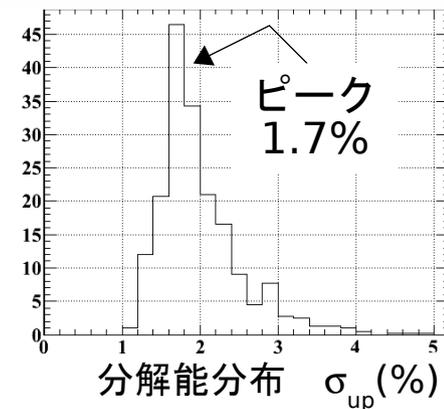
エネルギー測定 III

- π^0 55MeV



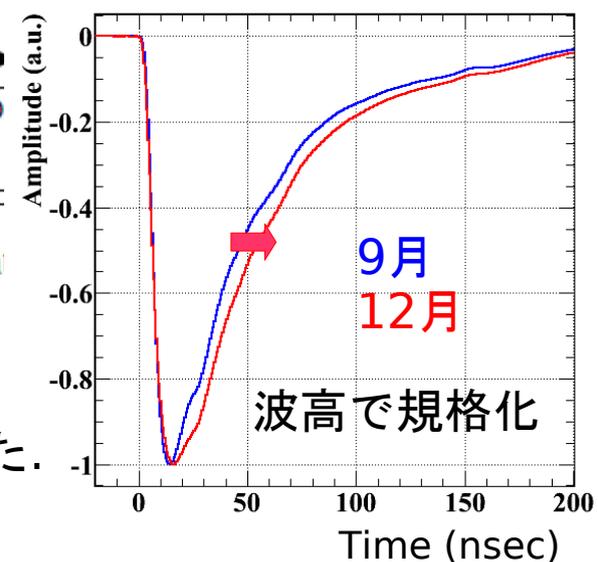
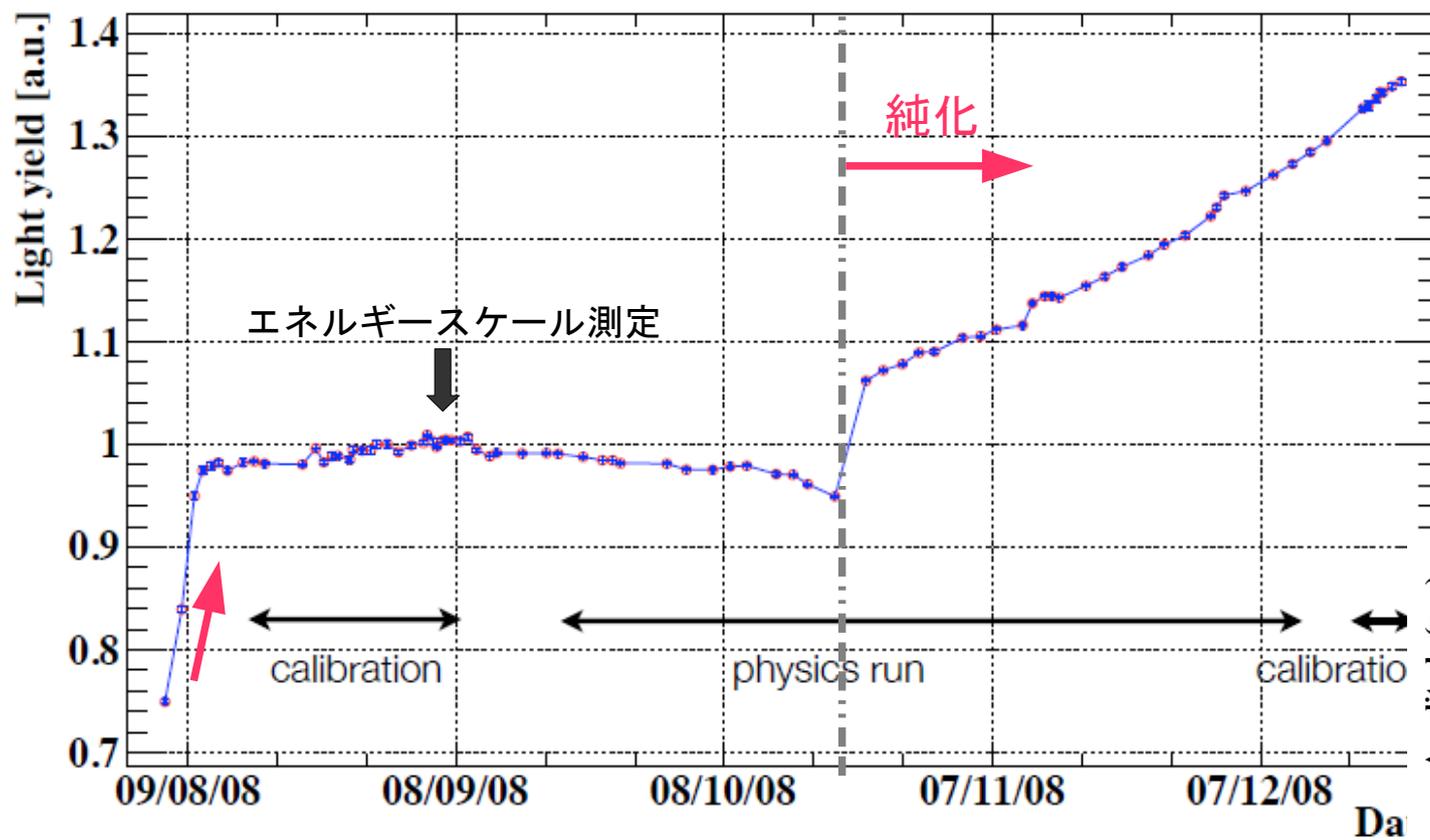
- ペDESTAL分布を分離することで分解能を正しく評価
- 入射面全体で分解能を評価しマップを作成.
- 平均分解能 (MEGラン中のイベント分布で平均)

$\sigma_{up} = 2.0\%$ for deep(>2cm), 3.0% (1~2cm), 4.2% (0~1cm)
エネルギースケールの決定



エネルギー測定 IV

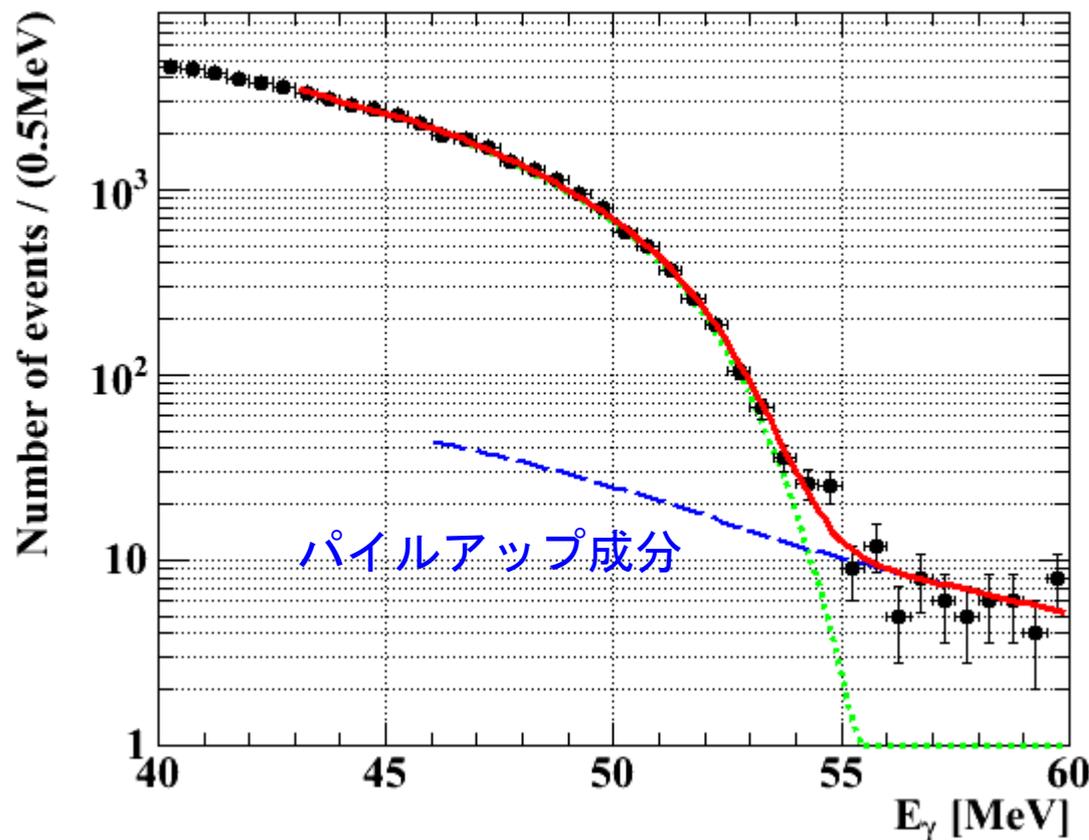
- 純化による光量変化の補正
 - 物理ラン中： $\text{Li}(p,\gamma)\text{Be}$ 反応 17.6MeVラインの変動をモニター



純化と共に
波形も変化していった。

エネルギー測定 V

- μ 粒子崩壊からのガンマ線スペクトル自身を用いて (side-bandデータ)
 - 補正、分解能、エネルギースケールのチェック

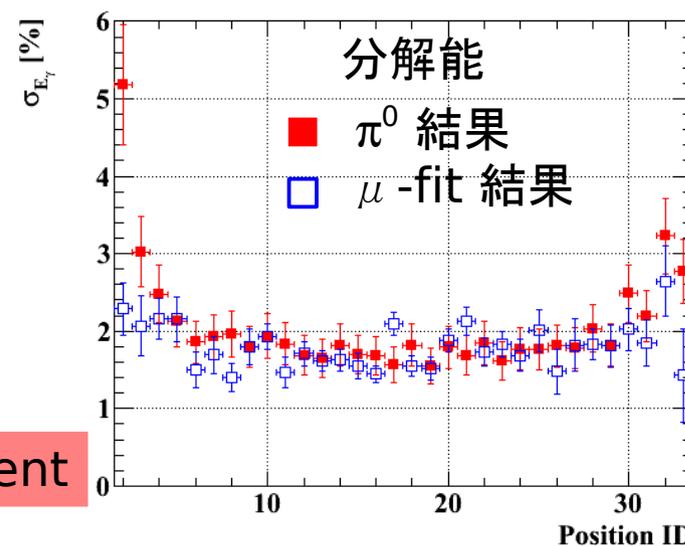


解析の正当性を確認
Sys. uncertaintyの評価

consistent

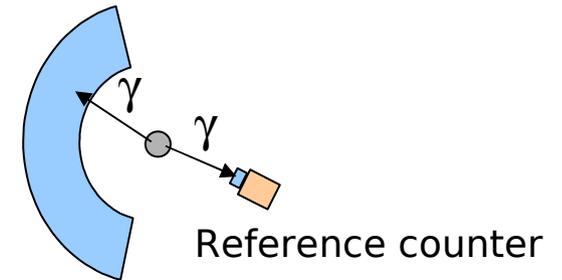
MCから予想されるスペクトルとデータをフィットする.

- パラメータ
 - エネルギースケール
 - 分解能
 - パイルアップの割合

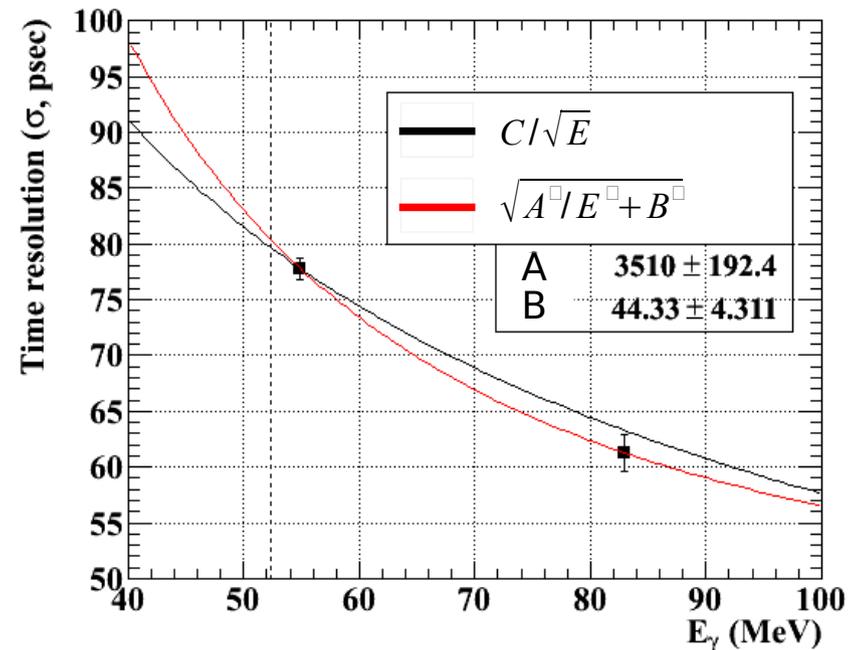


時間測定 I

- 再構成方法
 - PMT時間から再構成位置とPMT間の伝播時間を引いた時間.
 - たくさんのPMTの測定(~150本)を統合(χ^2 fit).
- $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$
 - Refカウンターとの時間差
 - 結果
 - Gaussian
 - $\sigma_t = 78\text{ps @}55\text{MeV}, 61\text{ps @}83\text{MeV}$
 - 12月最後の測定ではより高い分解能(光量の回復).
 - $\sigma_t = 68\text{ps @}55\text{MeV}$

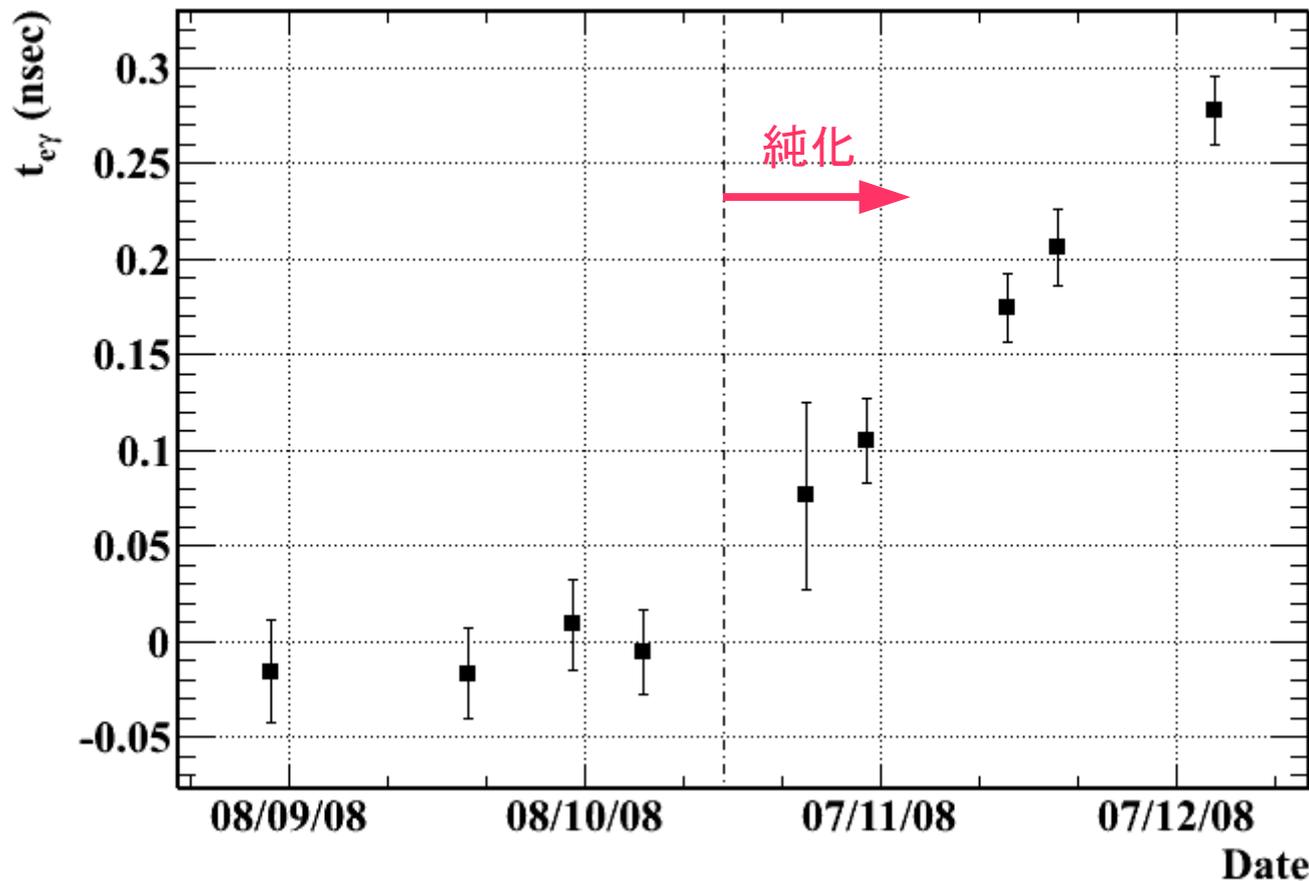


$\sigma_t = 80\text{ps @}52.8\text{MeV}$
 (ただしこの値は直接は使われない.)
 エネルギー(光電子数)依存性.

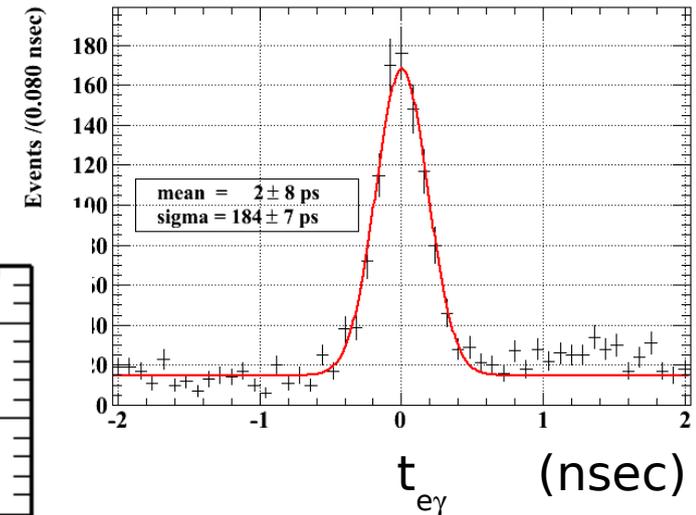


時間測定 II

- μ radiative decay測定での補正
 - 純度の回復に従い波形が変化
 - t_0 の変化を観測



- 補正後の安定性 <20 ps



ビーム強度を落としたRDラン

- 24時間 /1week
- S/Nがよく精度よく t_0 を求められる

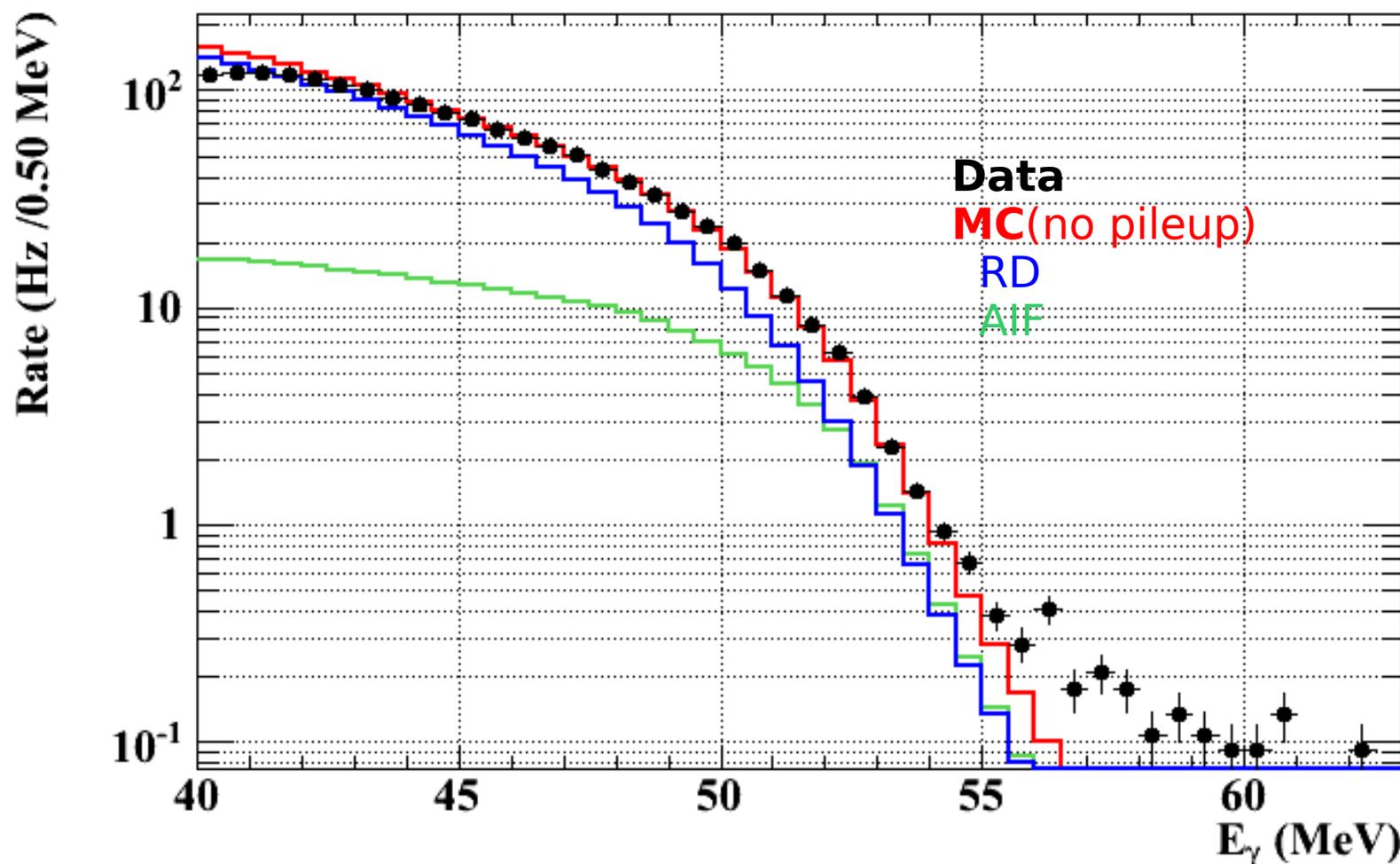
純化開始後を
1次関数で補正

バックグラウンド I

- バックグラウンドレイト
 - セルフトリガーデータで測定
 - MCと比較
 - レイトおよび形を再現

MC

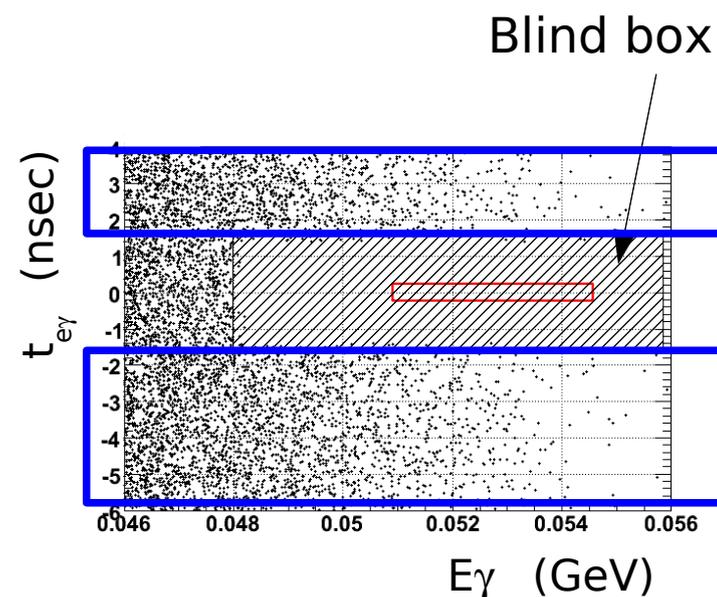
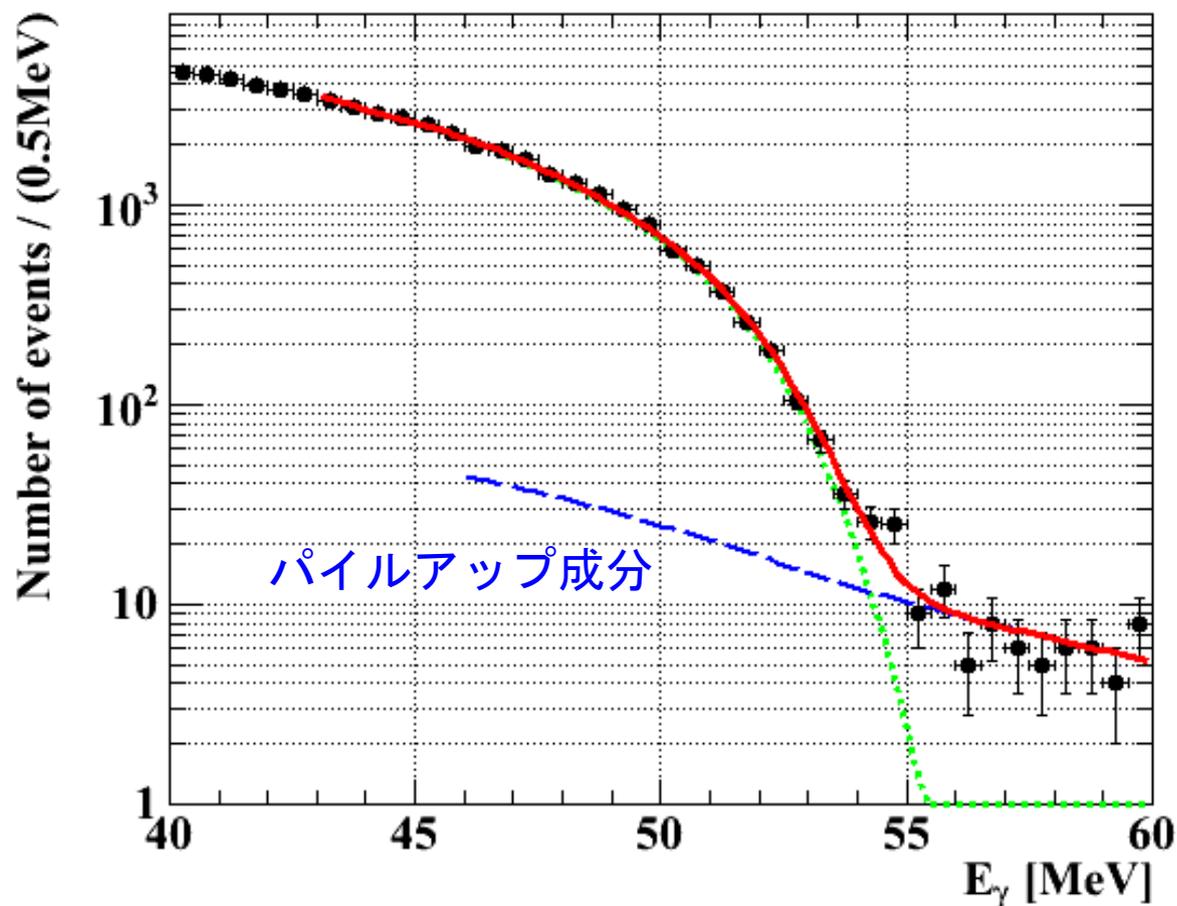
3.7 μ^+ decay/sec
レスポンス考慮
パイルアップ無し
Uncert \sim 7%



fitでは無い。

バックグラウンド II

- バックグラウンド p.d.f. をside-bandデータを使って求める。



MCスペクトルをフィットした滑らかな関数をp.d.f.として使う

- 統計誤差を減らす。

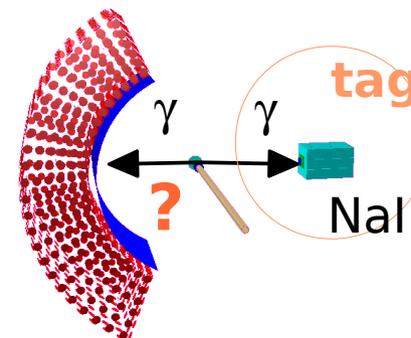
場所毎に求める。

検出効率

検出効率

- π^0 2ガンマ : NaIシングルトリガー
- MC
- μ データシングルスペクトル
- 場所毎の検出効率をMCを元に求める
- e^+ のイベント分布と掛け合わせて
- 解析範囲 $46 < E_\gamma < 60\text{MeV}$

5%以内で一致

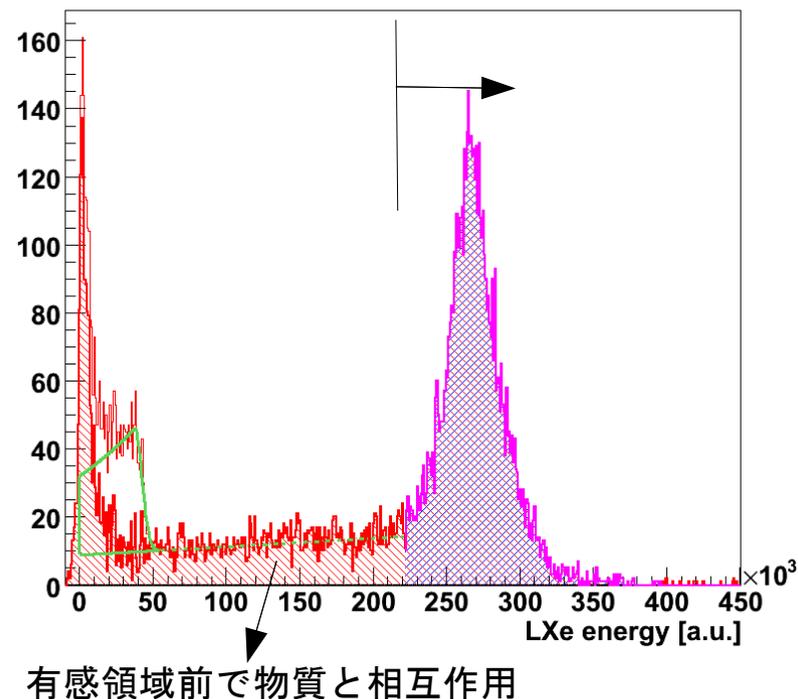


- $\epsilon_{\text{det}} = 66\%$

解析効率

- Inefficiency (パイルアップ、宇宙線カット)
- 9%

$$\epsilon_\gamma = (60 \pm 3)\%$$



系統誤差

- エネルギースケール
 - 55MeVピークの精度 : 0.08 %
 - 光量変化の追跡 : 0.3 %
 - ゲイン変動の補正の誤差 : 0.2 %
 - 合計 : 0.4 %
- 検出効率
 - 5%

- 一連の解析手法を確立した。

- 分解能の向上
- レスポンスの理解
 - Systematic uncertainty の減少
 - 場所・イベント依存のp.d.f.
- 検出効率の向上
- バックグラウンドの理解
- 検出効率の測定
- 系統誤差の評価

➡ 物理解析(Likelihood Analysis)
次の次のトーク

- パフォーマンス

- 位置：現状では相応な分解能。今後再構成アルゴリズム、PMTのQE測定を改善。
- エネルギー：検出器の中心付近では目標値を達成。全体としてはもう少し。端や浅いイベントなど悪い部分を今後改善する必要。
検出器を安定に保ち系統誤差を減らす。
- 時間：光量の増加と共に分解能の向上。2008年終盤ではほぼ目標を達成。
- 検出効率：目標値を達成。

	最終目標	2008
位置	2-4mm	5mm
エネルギー	1.2-1.5%	2%
時間	65ps	80ps