

# CsI(Tl) photon detector waveform analysis system at FADC ver2

June 20 – 23, 2015

H. Ito

2015.06.24

## Abstract

TREK E36 実験のための CsI(Tl)ガンマ線検出器の FADC における波形解析システムを構築した。これは CERN が開発した ROOT を基に設計し、良い波形イベントと悪い波形イベントを選別する。良いイベントは波形のピークが 65 tdc (FADC 25 MHz sample rate: 40 ns/tdc)の時刻に集中しており、理想的な立ち上がりと減衰項のモデルを構築している。他の悪いイベントについて見てみよう。まず、lower event は波形ピークが低く、しきい値の設定で除去されてしまう可能性を持つ。次に delay event はタイミングが遅いのでノイズとして処理される。もし使われるなら、モデル関数で over flow した領域を補正する。最後、double event はノイズイベントが重なって、エネルギーを上手く見積もれなくなる。2つのピークを分離してエネルギーの補正をする。

前回のフィッティングでは粗い関数で2ピーク分離に成功したが、モデル関数では上手くフィッティングできているとは言えなかった(図1)。この原因はモデルの立上り時に一度負になることと、シグモイド曲線の中心点と立上り時刻が一致していないことにあった。今回、これらを改善し、新たなモデルを考察する。

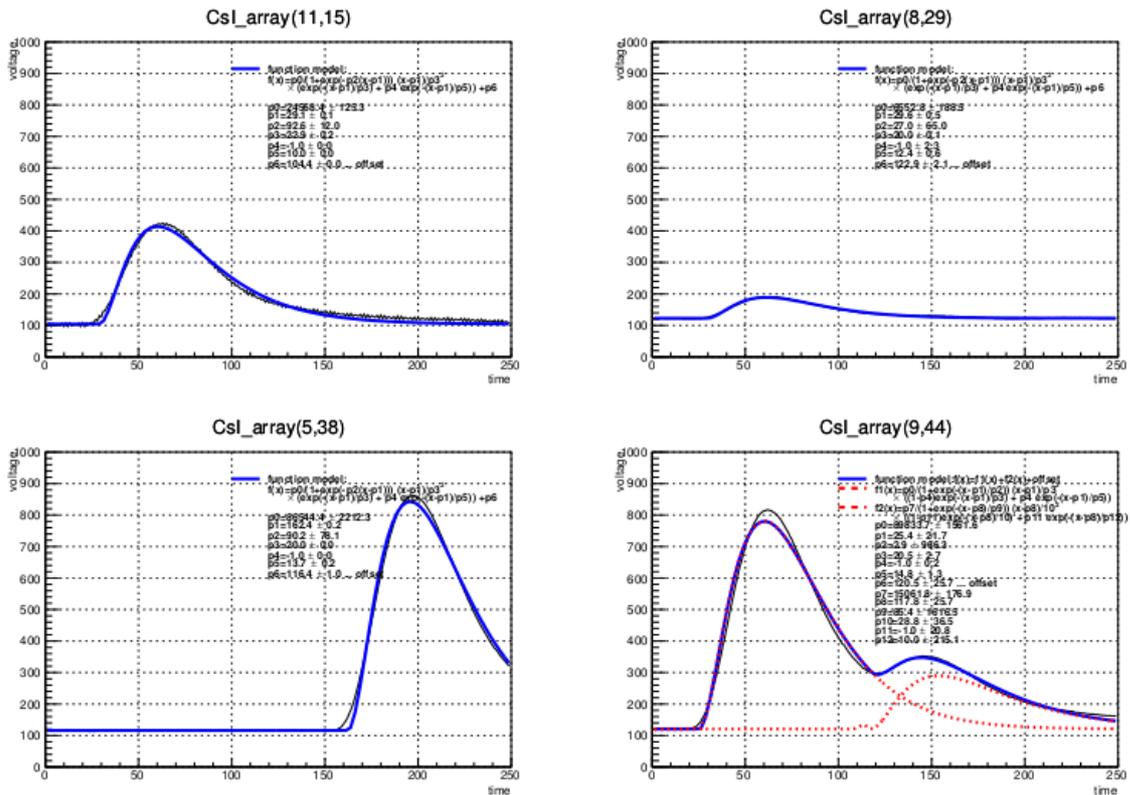


図1. 4つのサンプル波形と前回のモデル関数でのフィッティング結果。モデルはシグモイド関数と1次関数そして2パラメータの指数関数の積で表されている。

## 1. Older Model Function

前回のモデルはフリークエンシー関数の代わりにシグモイド関数を使用して以下の式が採用された。

$$f(t) = \frac{N}{1 + \exp(-a(t - t_0))} \frac{t - t_0}{\tau_1^2} \left( \exp\left(-\frac{t - t_0}{\tau_1}\right) + \varepsilon \exp\left(-\frac{t - t_0}{\tau_2}\right) \right)$$

シグモイド関数は階段関数の角が緩やかになったような関数で、立ち上がりの程度を表している。指数関数の肩の係数 a の値によって立上りに変化をつけている。N は規格化定数である。後の項は波形の主なる部分を示しており、 $(t - t_0)/\tau_1^2 \exp(-(t - t_0)/\tau_1)$  は  $t = t_0$  のときゼロ、つまり立ち上がり時、減衰時定数  $\tau_1$  による指数関数的な減衰を兼ね備えた曲線を描く。ピークの位置は微分値がゼロであることを考慮すると、 $t = t_0 + \tau_1$  である。このときのピークの高さは  $\tau_1^{-1} e^{-1}$  である。2 つ目の項は減衰時定数が異なる。CsI(Tl)からの発光特性は2種類の減衰時間を持つと知られているので、係数  $\varepsilon$  をかけて減衰の寄与を補正している。この関数系は一見正しそうに見えるが、 $t < t_0$  で一度負になってゼロに収束する(図2)。この立上り前の落ち込みがフィットを邪魔する。

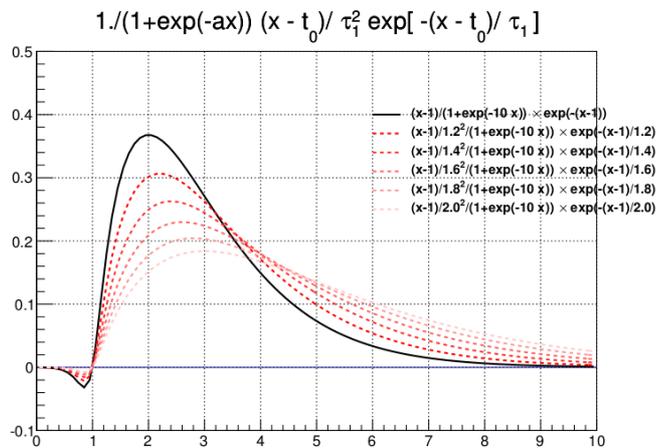


図2. 模型関数：立上り時に一度負に落ち込んでいる。

## 2. Determination of center of Sigmoid

この模型関数では  $(x-x_0) \exp(-(x-x_0))$  の関数系とシグモイド関数の  $1/(1 + \exp(a(x-x_0)))$  における時刻  $x_0$  を同期させているが、シグモイドの  $x_0$  は立ち上りの中心時刻を意味しているので改善する必要がある。立ち上りの漸近線、つまり2回微分がゼロの時刻をシグモイドの中心時刻に設定し、立ち上り時刻とは同期させないほうが良い。

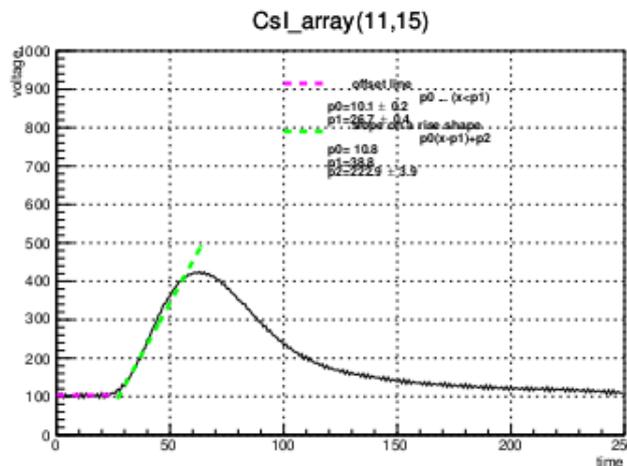


図3. シグモイド曲線中心点の決定：シグモイドの漸近線でフィッティングした結果。

### 3. New Model Function

これらを考慮して新しいモデル関数を以下に定義する。

$$f(t) = \frac{N}{1 + \exp(-a(t - t_r))} \frac{t - t_0}{\tau_1^2} \left( \exp\left(-\frac{t - t_0}{\tau_1}\right) + \varepsilon \exp\left(-\frac{t - t_0}{\tau_2}\right) \right) \quad (t > t_0)$$

先ほどの旧関数と比較すると、シグモイド関数の中心時刻と立上り時刻は同期を解除し、波形の立上り前の領域はカットした。これで、後の項による負への落ち込みを解消できる。

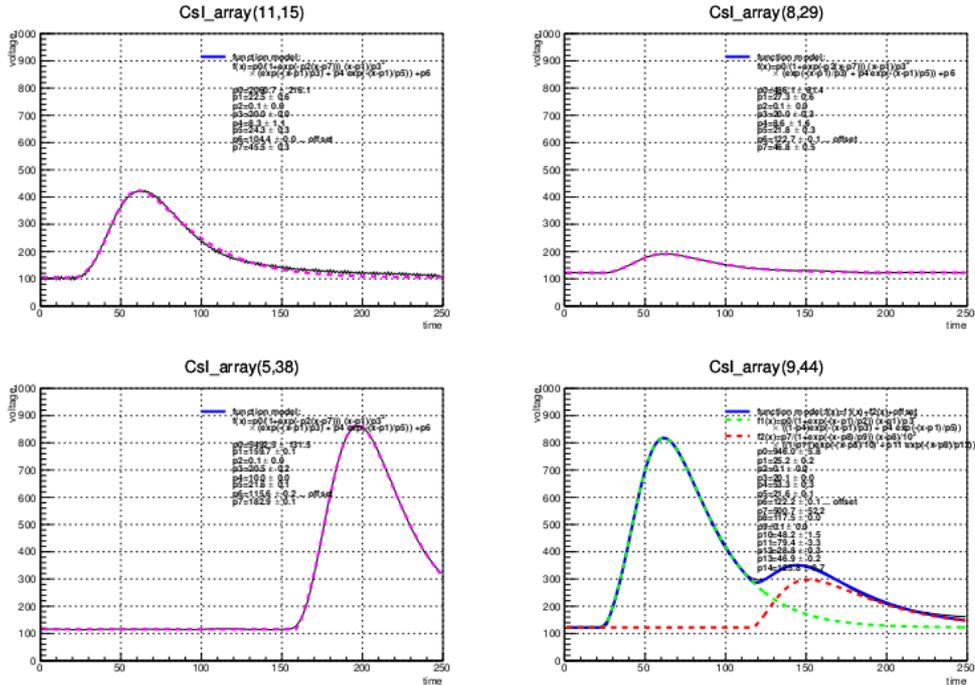


図 4. new モデル関数フィッティング結果

### 4. Comparing the Models

新旧模型のフィッティングがどれほど良くなったかを比較するために、33個のサンプル波形で試みた。指数関数の2種類の減衰パラメータの分布、オリジナルの値から模型関数の差を比較して評価した。

#### 4.1. Decay constant distribution

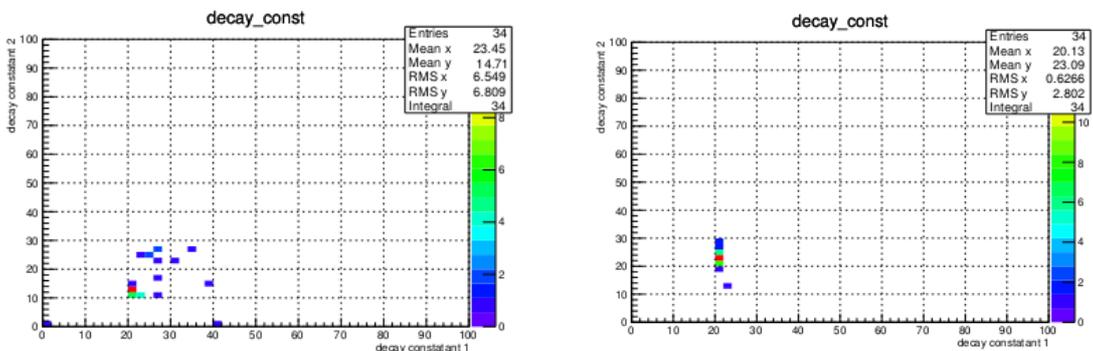


図 5. 減衰パラメータの分布：(左)旧模型、(右)新模型

模型関数には2種類の減衰パラメータを使用している。旧模型は  $\tau_1$  および  $\tau_2$  は 20 – 50 の範囲で決定させている。一方新模型は  $\tau_1$  は初期値 20 を決定し、 $\tau_2$  を 10 – 100 の範囲で決定させている(図5)。これらを比較すると旧模型および新模型は  $\tau_1=20$ 、 $\tau_2=10-20$  の領域に集中した特徴を持ち、旧模型より新模型のほうがばらつきが少ない。旧模型のピーク値における標準偏差は  $(\sigma_x, \sigma_y) = (6.5, 6.8)$  で、新模型の標準偏差は  $(0.63, 2.8)$  と評価できる。

#### 4.2. Accuracy by the difference: $\{f(x) - y(x)\}/\sqrt{q}$

オリジナルの  $y$  座標と模型関数の差からフィッティング精度を評価する。積分値  $q$  による影響を抑えるために、この差  $f(x) - y(x)$  から平方根  $\sqrt{q}$  で割った値をフィッティング精度と定義して評価することにする。 $x=0$  から 250 までの精度とその時の積分値を 2 次元分布に示す(図6)。精度のばらつきから旧模型では標準偏差 8.7%、新模型では標準偏差 3.9%に精度を向上させることができた。

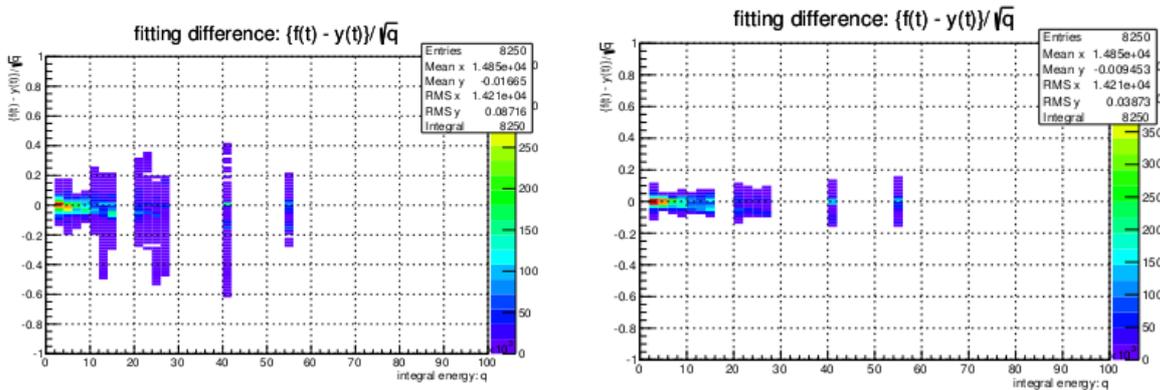


図6. 積分値  $q$  とフィッティング精度の2次元分布：(左)旧模型、(右)新模型

#### 5. Calculation time

33 波形をループでの計算時間から 1 波形当たりの平均時間を推定する。使用した CPU: Intel(R) Core i7-3770 3.4 GHz 4 core の場合、33 波形のループで 3.02 秒。したがって 1 波形平均 0.09 秒である。ただし少ないサンプル数のため全体の解析でどのくらいの時間が掛るかは正確に議論できない。

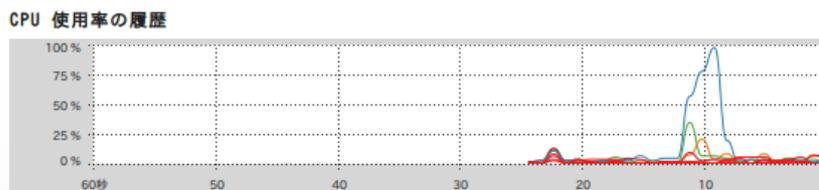


図7. CPU 使用率の履歴

#### 6. Conclusion

前回のフィッティングでは粗い関数で2ピーク分離に成功したが、モデル関数では上手くフィッティングできているとは言えなかった。この原因はモデルの立上り時に一度負になることと、シグモイド曲線の中心点と立上り時刻が一致していないことにあった。新たな模型を考察し、前回よりも良いフィッティングを可能にした。今後の進展としては、より多くのサンプルで試み、他の雑な波形に対しても強いプログラムにするつもりだ。また、解析時間短縮のためのアイデアを考案する。