

講演番号 17pV1-11

ニュートリノ中性カレント反応理解のための 中性子・酸素原子核反応に関する研究

田野智大、白石悠樹、小汐由介、蓬萊明日、芦田洋輔、中家剛、WENDELL Roger^A、
森正光^A、COLLAZUOL Gianmaria^B、IACOB Fabio^B、KONAKA Akira^C、嶋達志^D

岡大理、京大理^A、Padova University^B、TRIUMF^C、RCNP^D

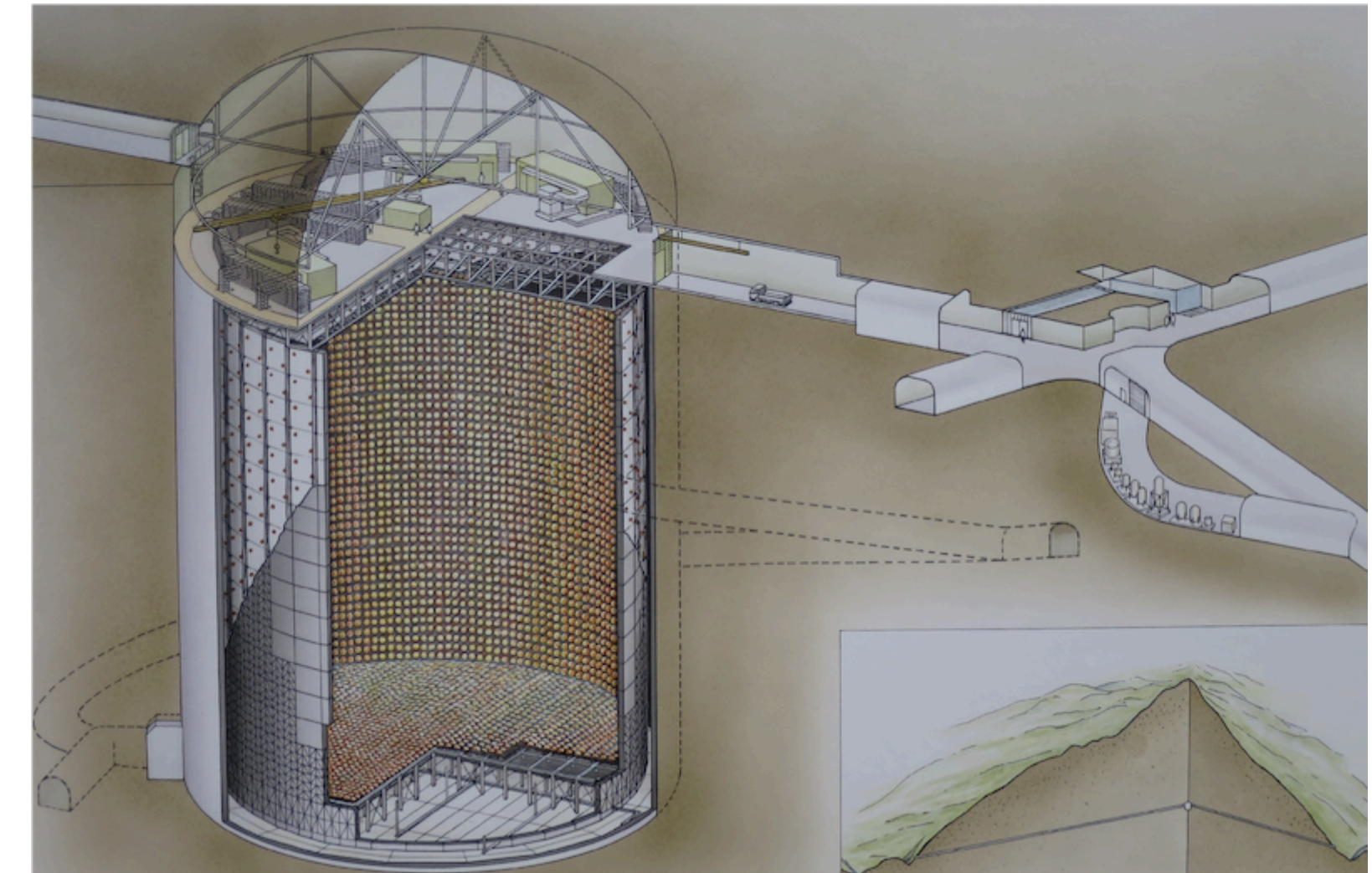
2021年9月17日 日本物理学会 2021秋季大会

目次

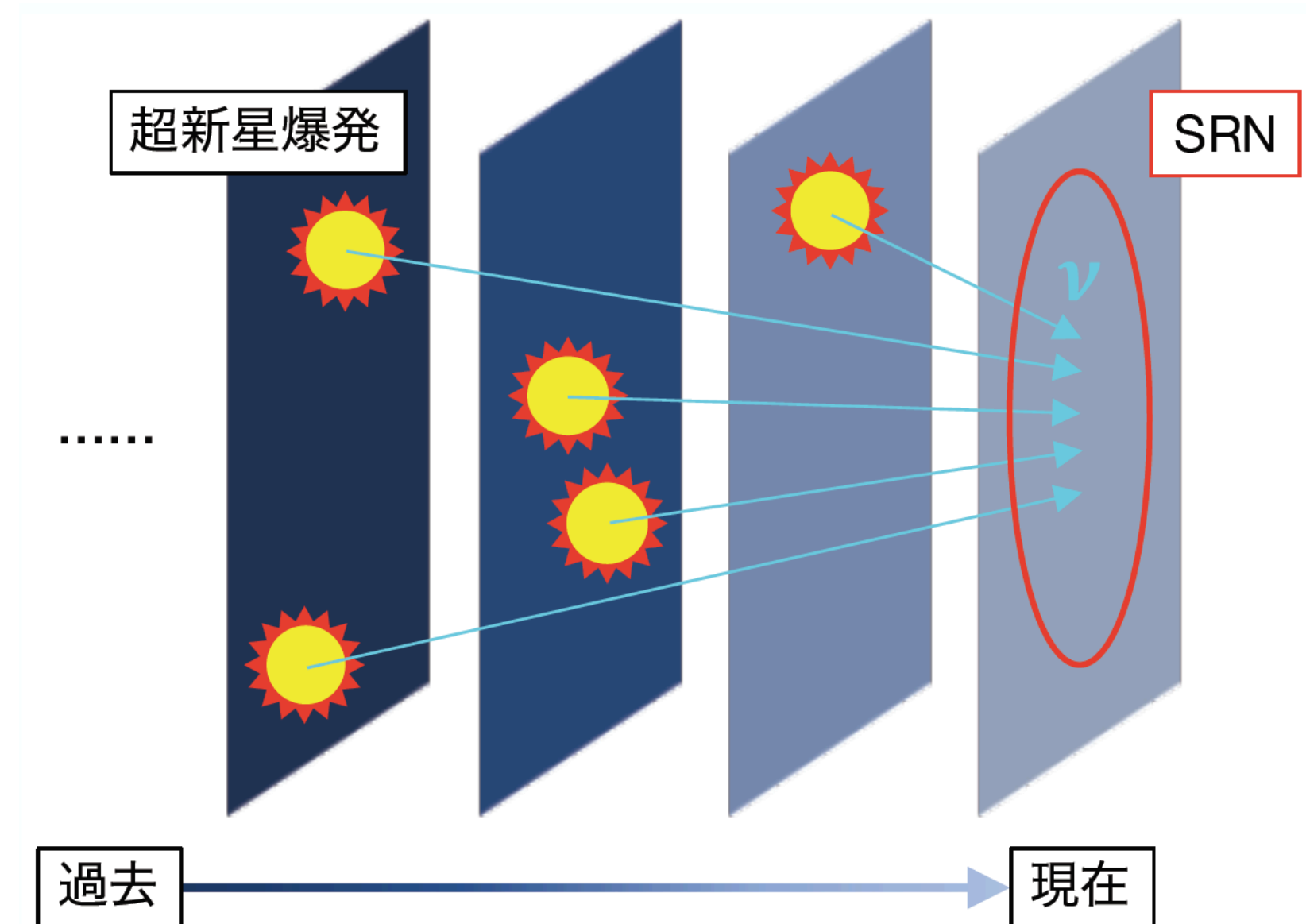
-
1. 研究背景
 2. E525実験
 3. 中性子フラックス解析
 4. ガンマ線解析
 5. まとめ

1. 研究背景

- スーパーカミオカンデ(SK)
 - ▶ 岐阜県飛騨市にある水チェレンコフ検出器
 - ▶ 内水槽は5万トンの超純水で満たされている

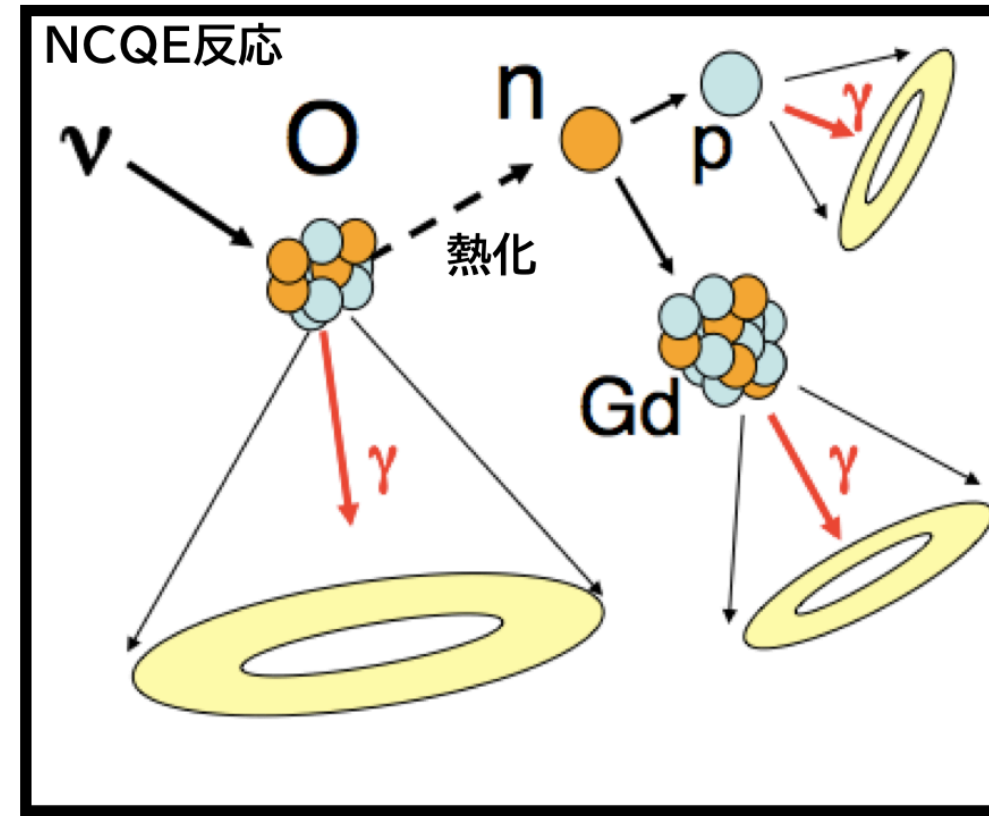
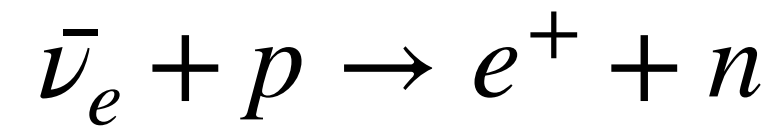
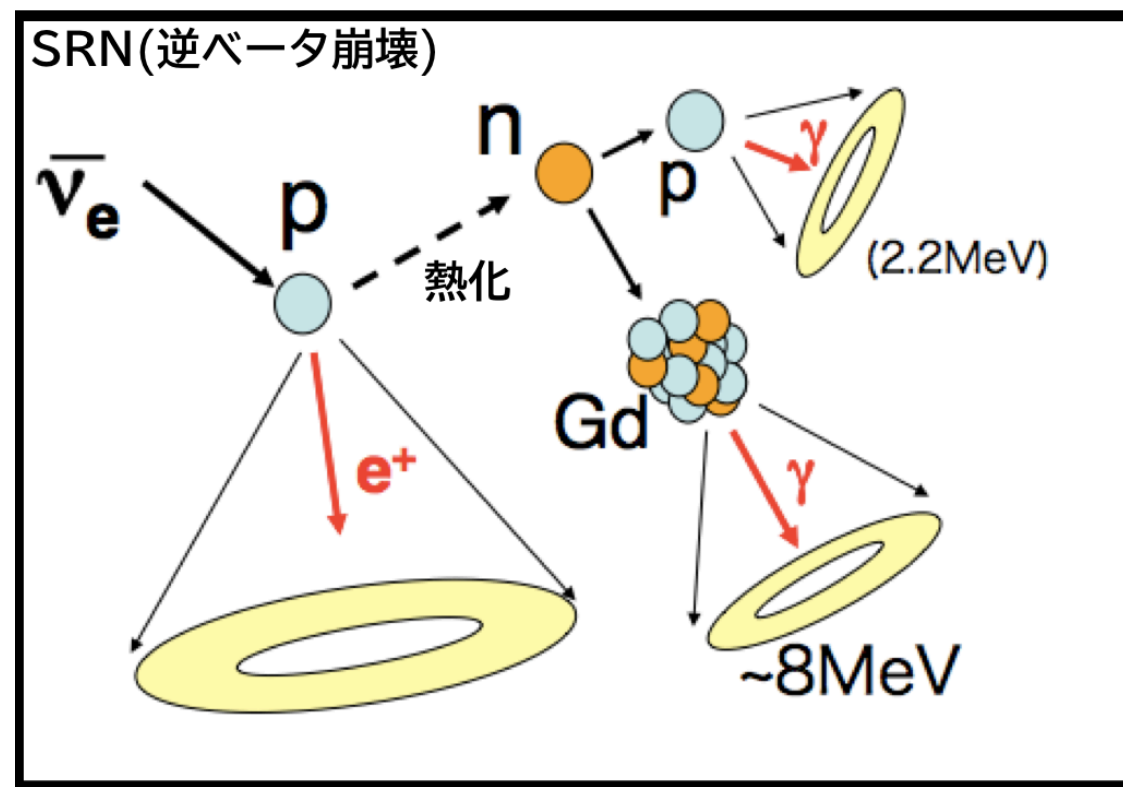


- 超新星背景ニュートリノ(SRN)
 - ▶ 過去の超新星爆発によるニュートリノの重ね合わせ
 - ▶ SK-Gd実験によって探索が行われている
 - ▶ 爆発機構・重元素合成過程の解明につながる



1. 研究背景

- 大気ニュートリノのNCQE反応



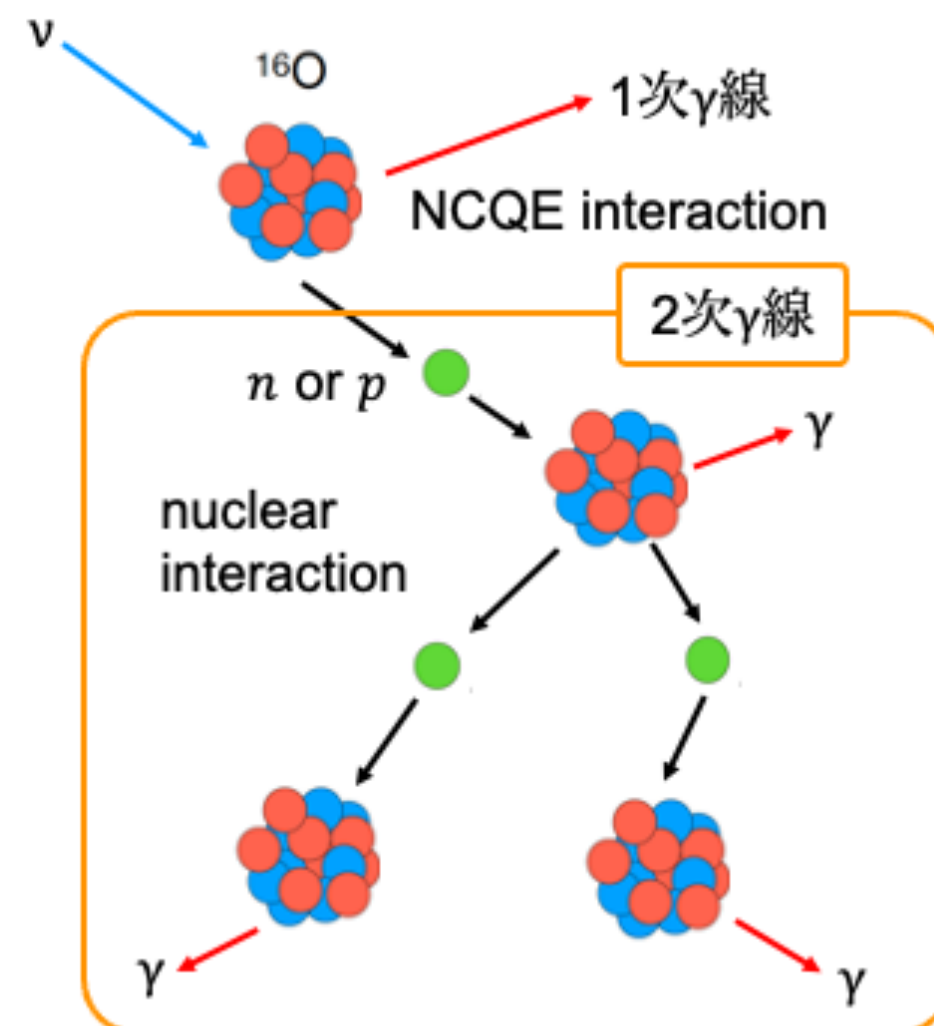
- SKで識別できない
→ シミュレーションによる見積もり

- 2次ガンマ線

- NCQE反応断面積の測定
→ 2次ガンマ線の不定性が大きい

モチベーション

中性子・酸素原子核反応を理解し、
2次ガンマ線の不定性を削減する

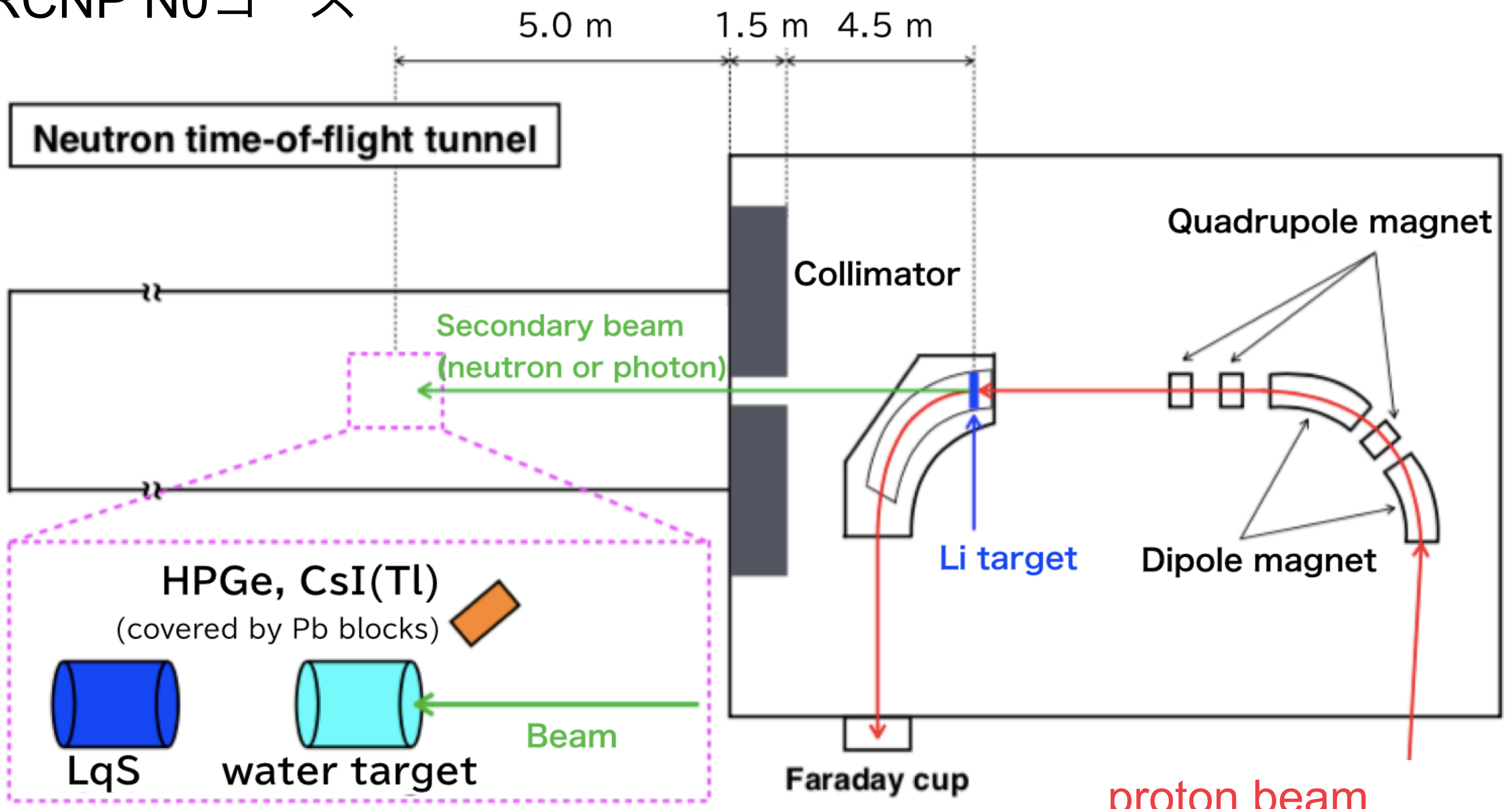


	Signal		Background	
	NCQE	NC non-QE	CC	Unrel.
Fraction of Sample	68%	26%	4%	2%
Flux	11%	10%	12%	-
Cross sections	-	18%	24%	-
Primary γ production	15%	3%	9%	-
Secondary γ production	13%	13%	7.6%	-
Detector response	2.2%	2.2%	2.2%	-
Oscillation Parameters	-	-	10%	-
Total Systematic Error	23%	25%	31%	0.8%

2.1 E525実験

- 大阪大学核物理研究センター（RCNP）で、2018年10月30日・12月16日に行われた
- 中性子ビームを水標的に入射し反応を測定

RCNP N0コース



- ▶ 中性子
→ Liquid scintillator (LqS)
- ▶ ガンマ線
→ High-purity germanium (HPGe)

本研究
250 MeV実験のデータ解析を行う

proton beam
30 MeV・250 MeV

2.2 解析の流れ・リマインダー

LqS data

粒子弁別
(PSD)

エネルギー再構成
(ToF)

検出効率補正

中性子フラックス

HPGe data

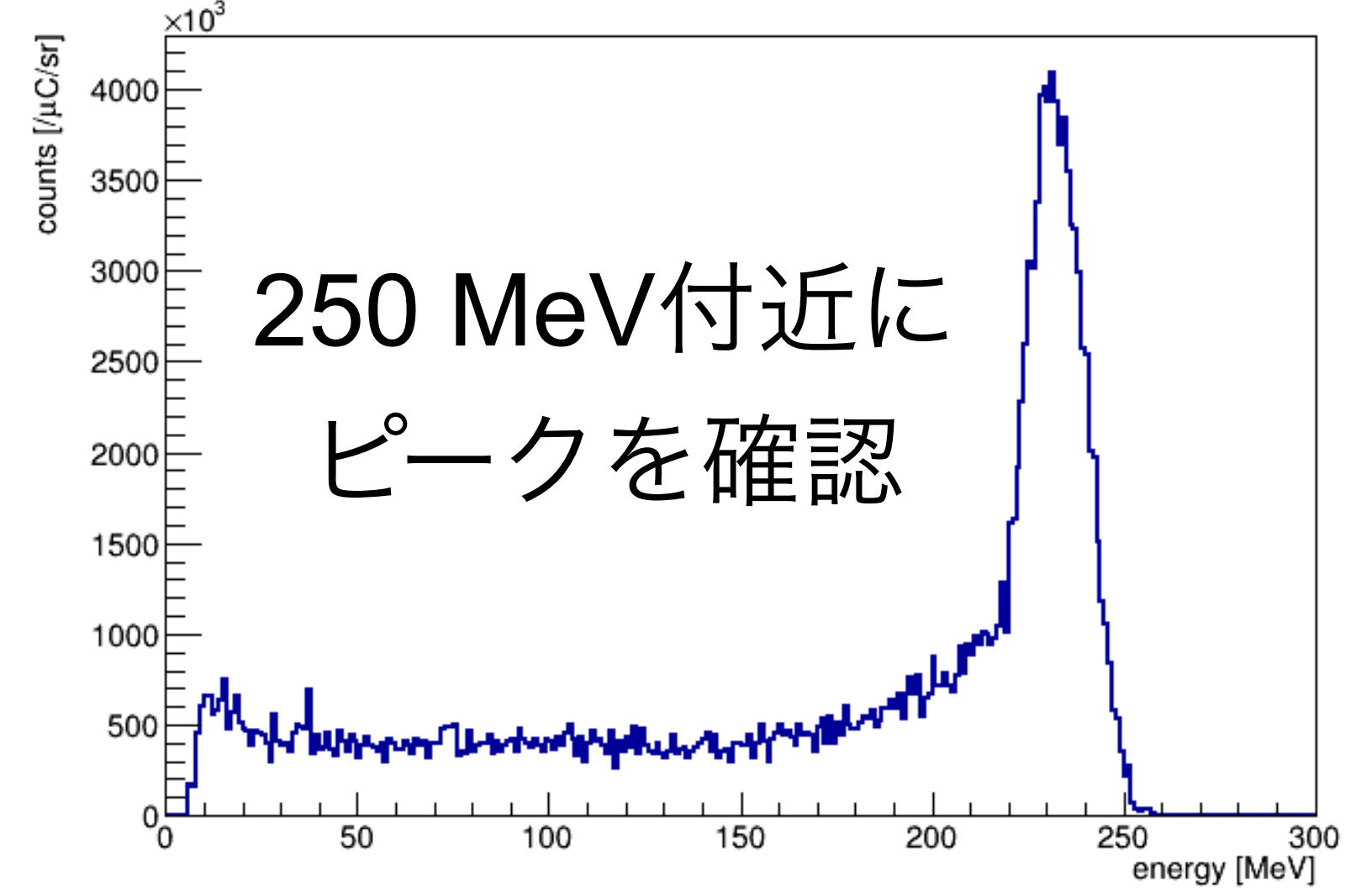
キャリブレーション

ガンマ線
スペクトラム

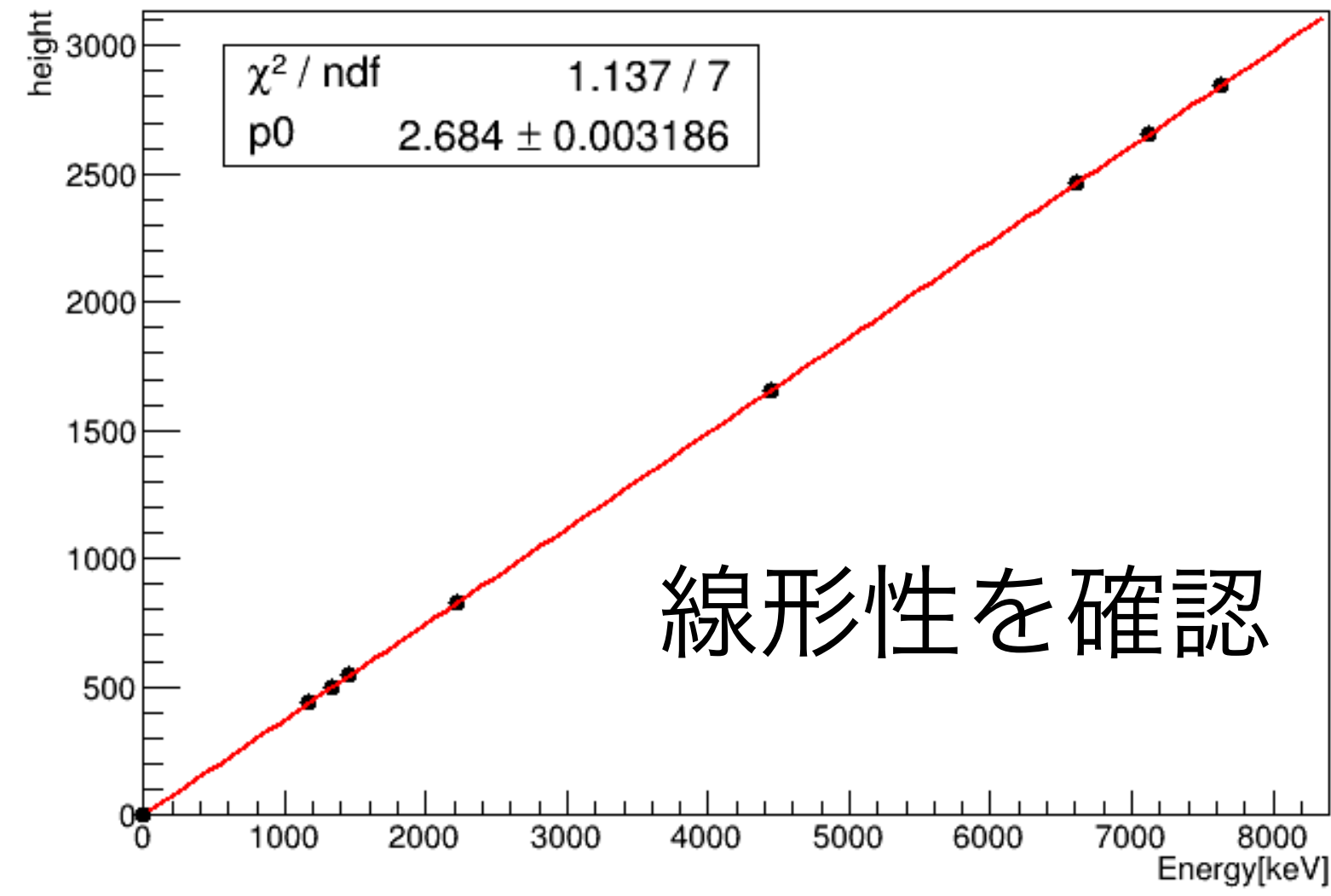
背景事象の削減

反応断面積

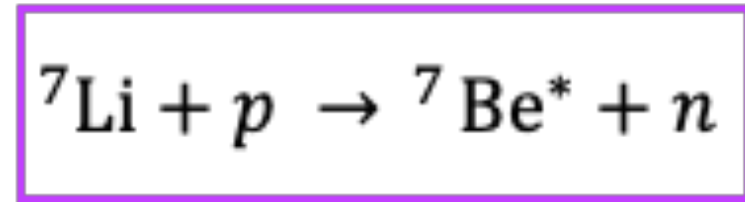
エネルギー分布



キャリブレーション



3. 中性子フラックス

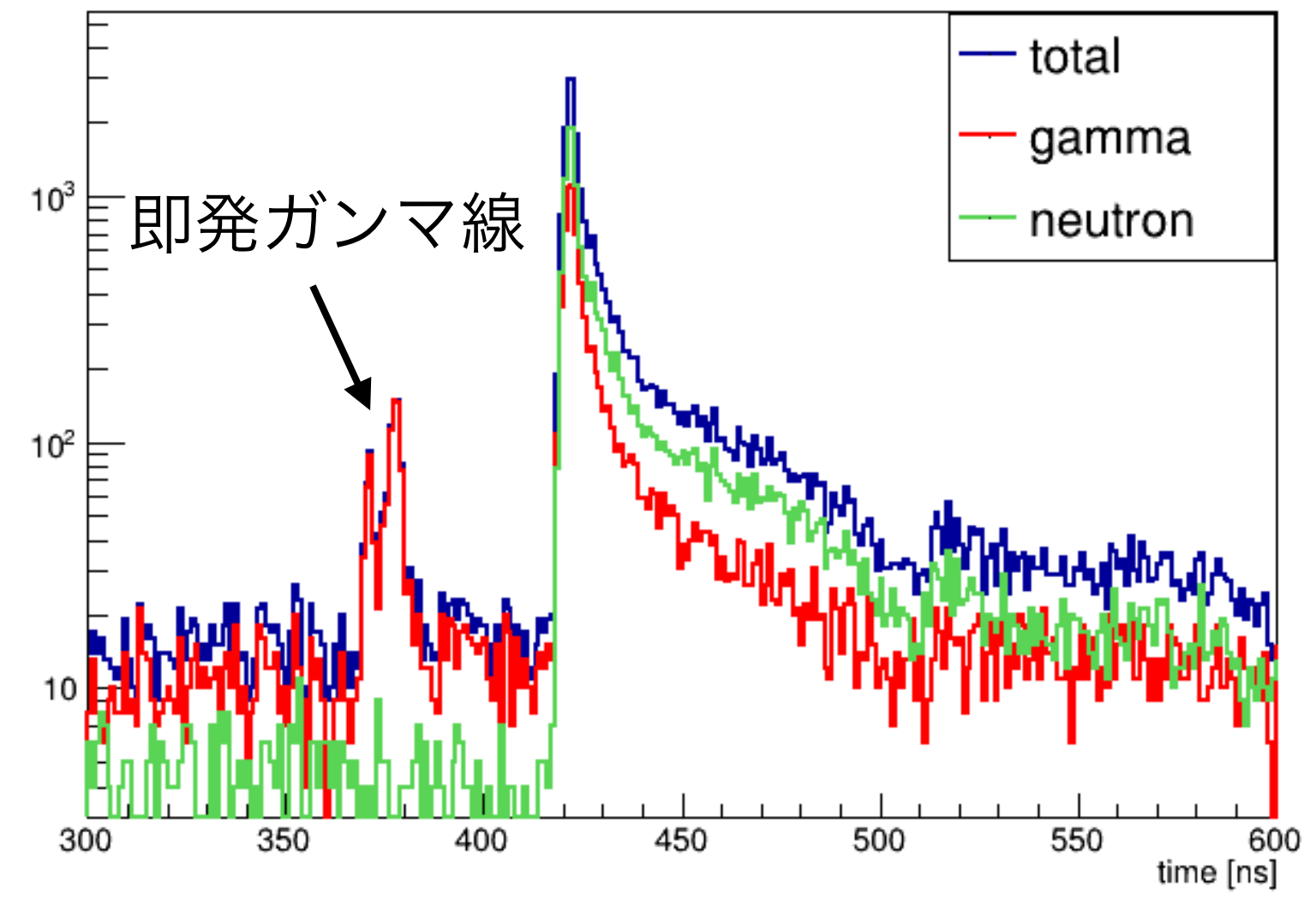


$$K = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{1}{1 + \frac{c}{L}} \Delta t\right)^2}} - mc^2$$

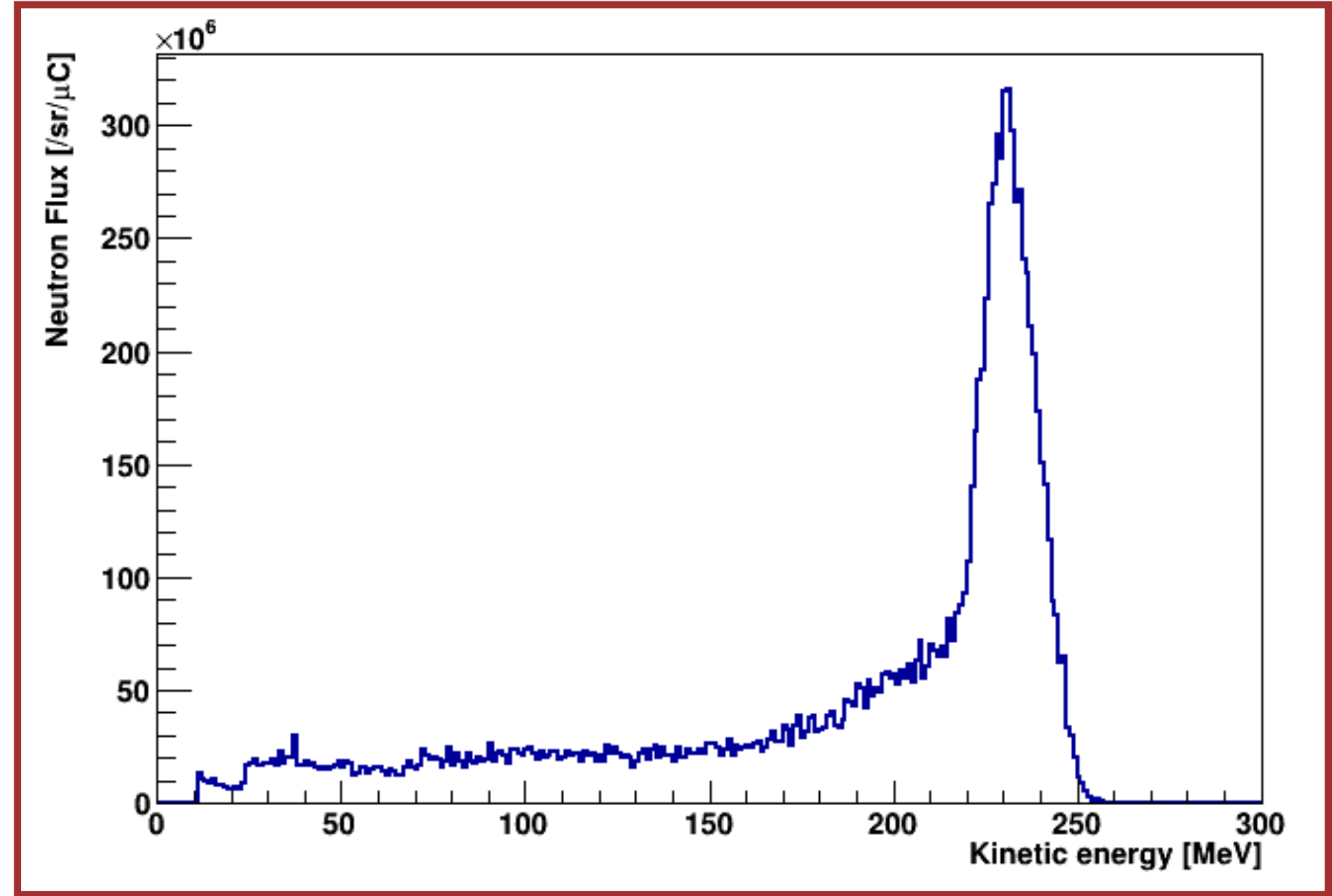
mc^2 : 中性子の質量 (939.6 MeV)

L : Li ターゲットから水標的までの距離

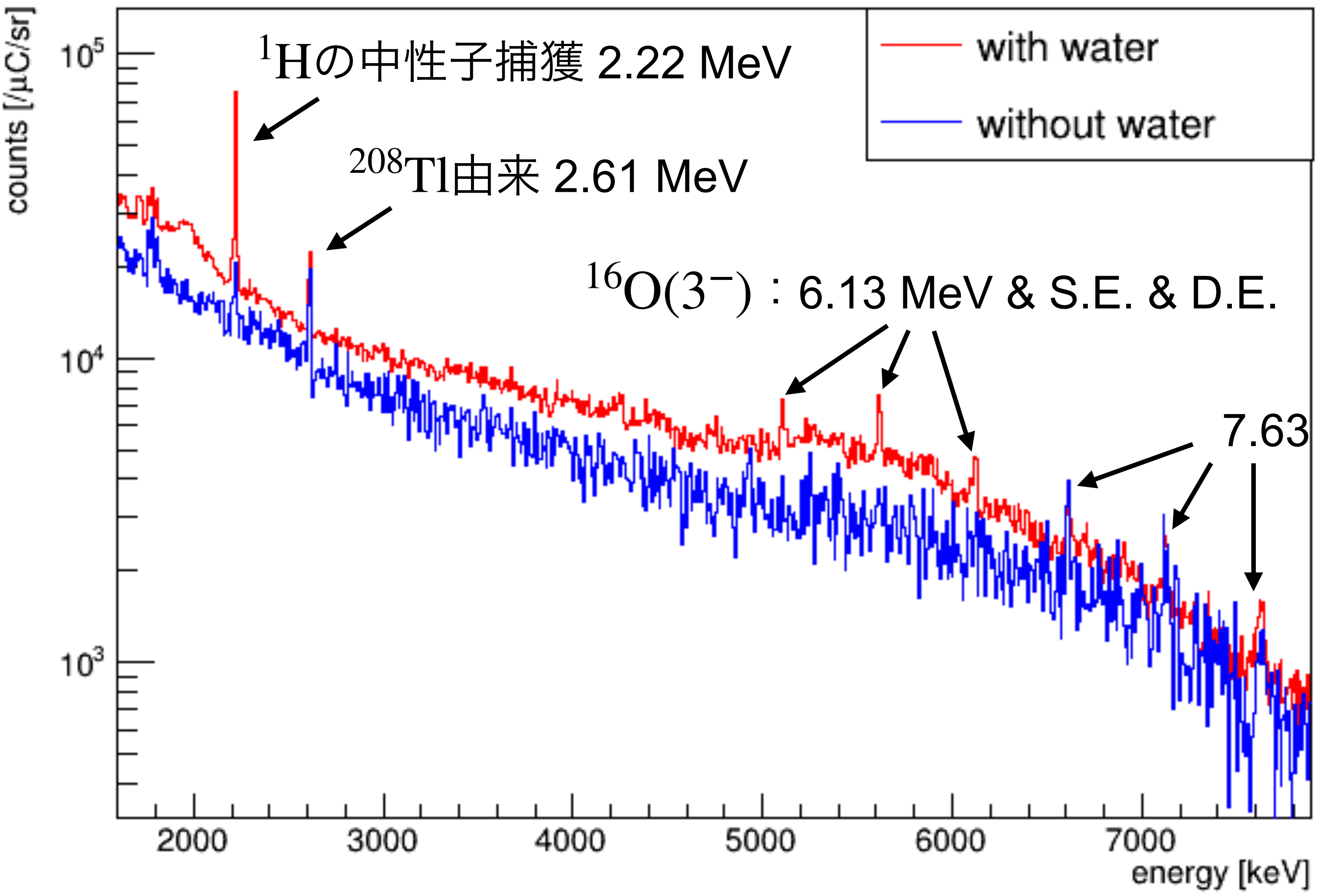
Δt : 飛来時間の差



- 即発ガンマ線と中性子の飛来時間(ToF)を利用してエネルギー再構成を行った
- SCINFUL-QMDシミュレーションにより、LqSの中性子検出効率を計算
- フラックスは220 MeV~250 MeVにピークをもつ
→ この領域を反応断面積計算に用いる



4.1 ガンマ線スペクトラム



- ^{16}O の脱励起ガンマ線や
 ^1H の中性子捕獲など、複数のピークを確認

$^{57}\text{Fe}(1/2^-)$
7.63 MeV & S.E. & D.E.

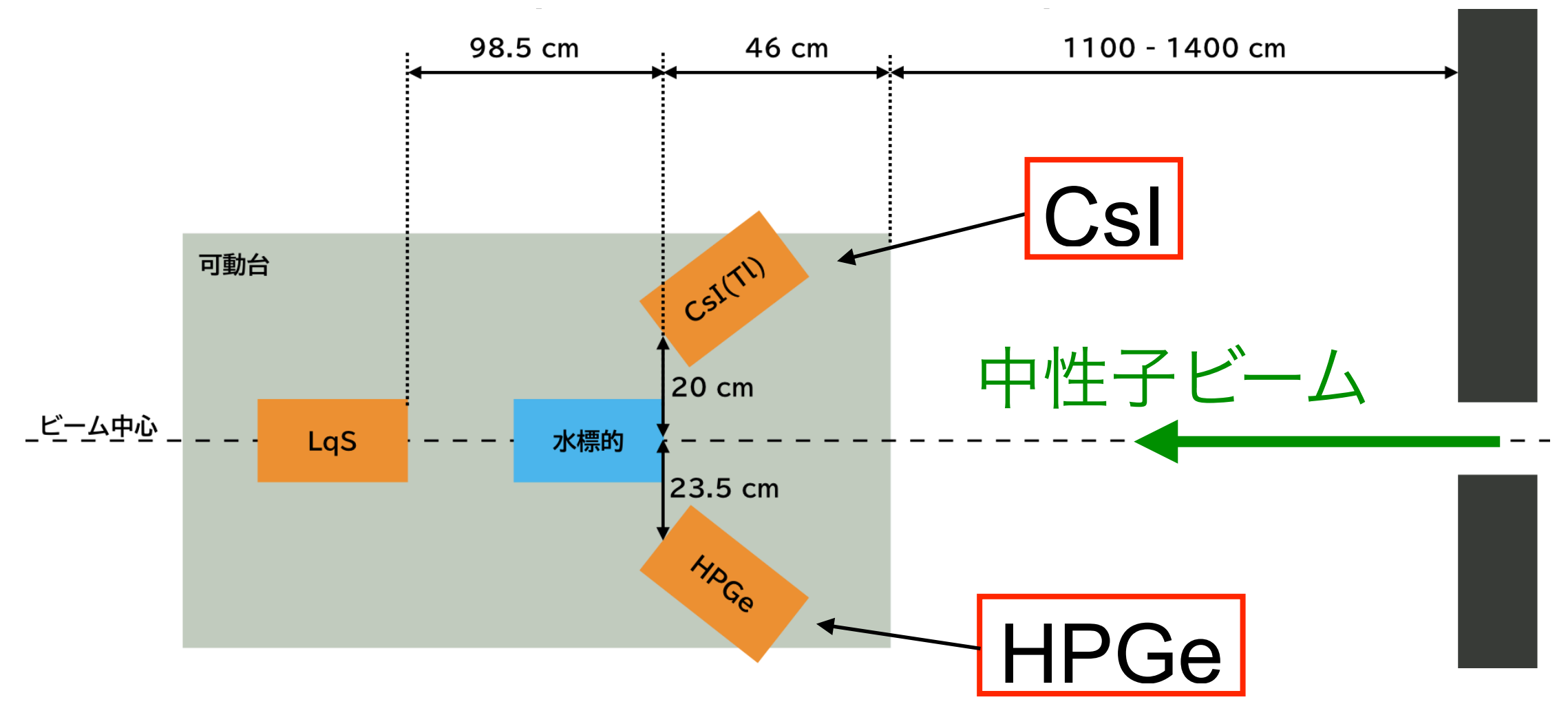
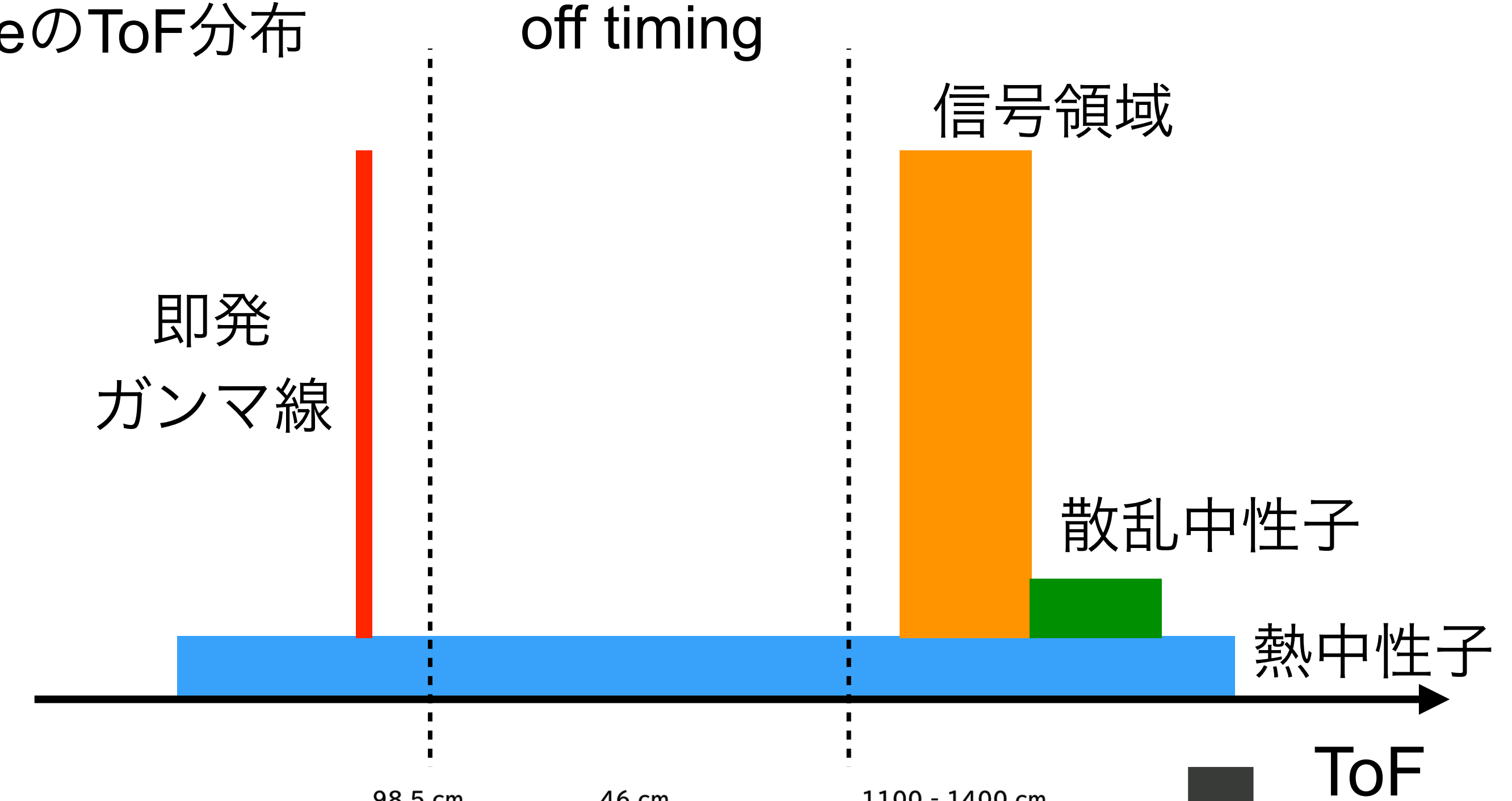
- 背景事象を取り除き、精密なピーク同定を行う

4.2 バックグラウンド

主な背景事象

- ビームエネルギー領域外の中性子による反応
 - ▶ **ToFを用いたエネルギーカット**
- 散乱中性子の影響
 - ▶ Csl で測定
 - ▶ **影響は小さく、無視できる**
- 熱中性子による影響
 - ▶ **off timing 領域のイベントを用いる**

HPGeのToF分布

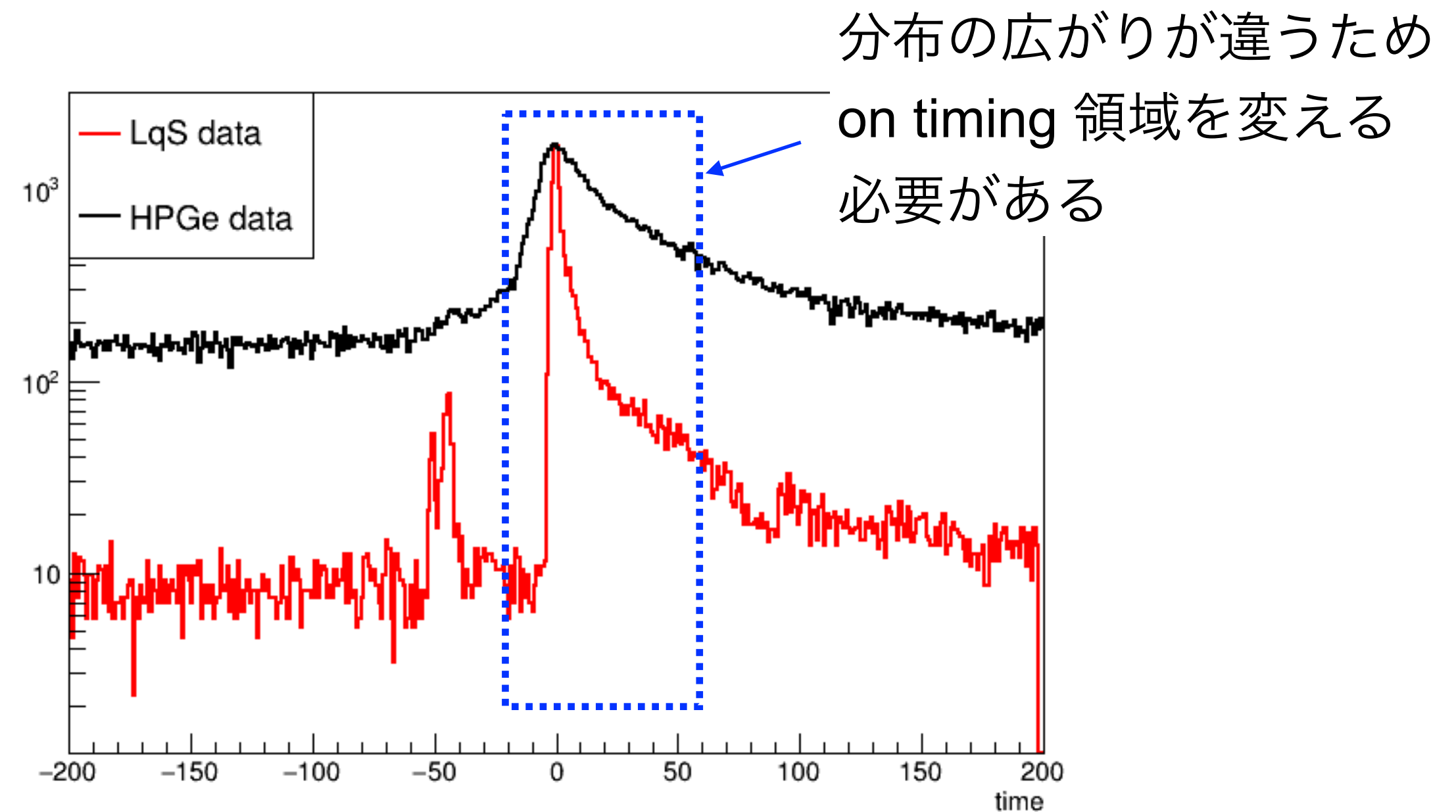
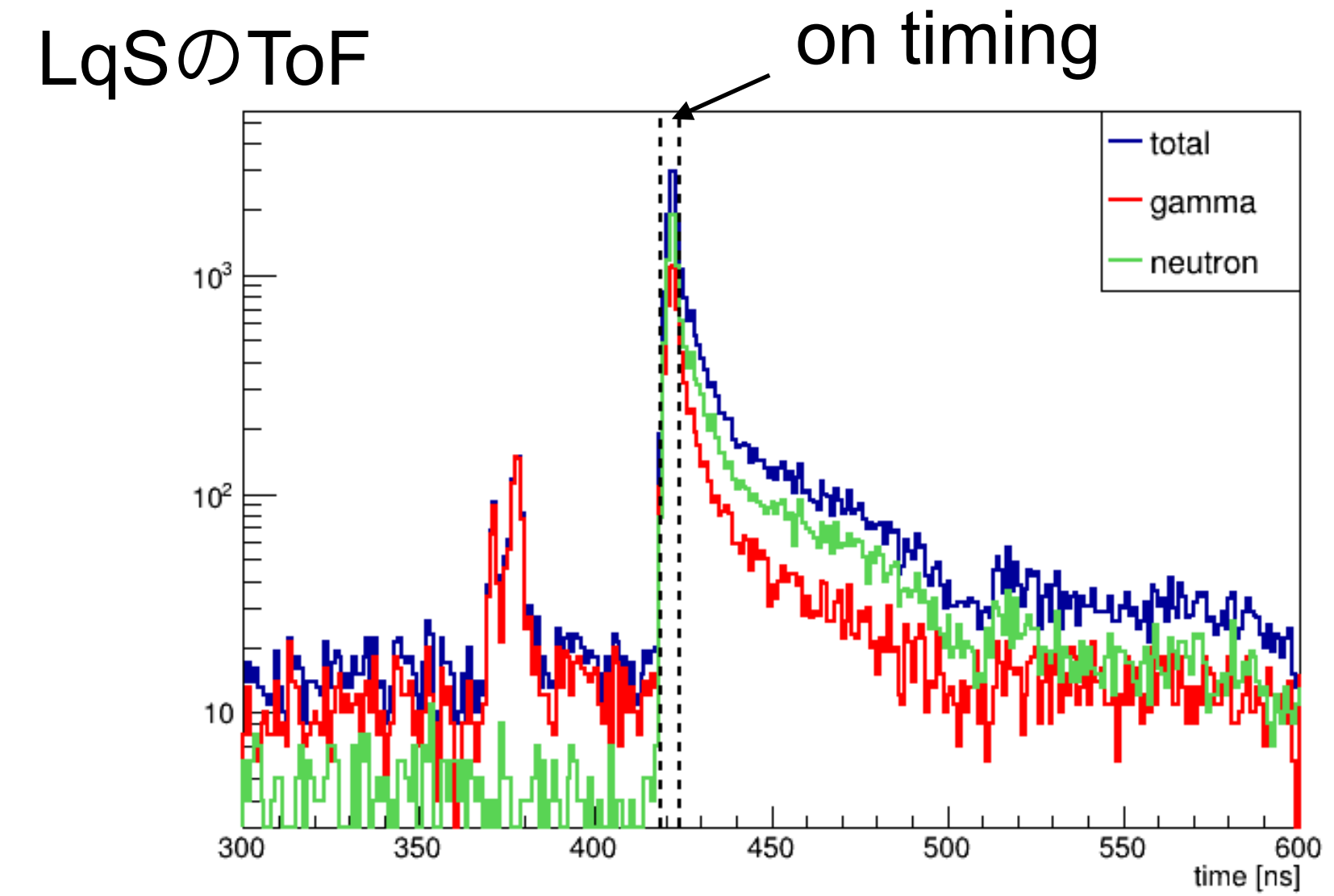


HPGeのToF分布で
on timing 領域を決定する必要がある

4.3 HPGe検出器のToF分布

- 中性子フラックスのピーク：220～250 MeV
- LqS のToF分布では $\Delta t = 44.2 \sim 49.5$ ns に対応
- HPGeのToF分布は、LqSより広がっている
→ on timing 領域も広げる必要がある
- 分布の広がりが違う原因として、時間分解能の違いが考えられる
 - ▶ LqS : 1.9 ns、HPGe : 6.8 ns

LqSの時間分解能をなまらせた ToF 分布を作成
→ データと合っていれば、その分布を元に
on timing 領域を決定できる



4.4 時間分解能をなまらせた分布を作成

LqSの時間分解能を 6.8 ns に広げたToF分布を作成

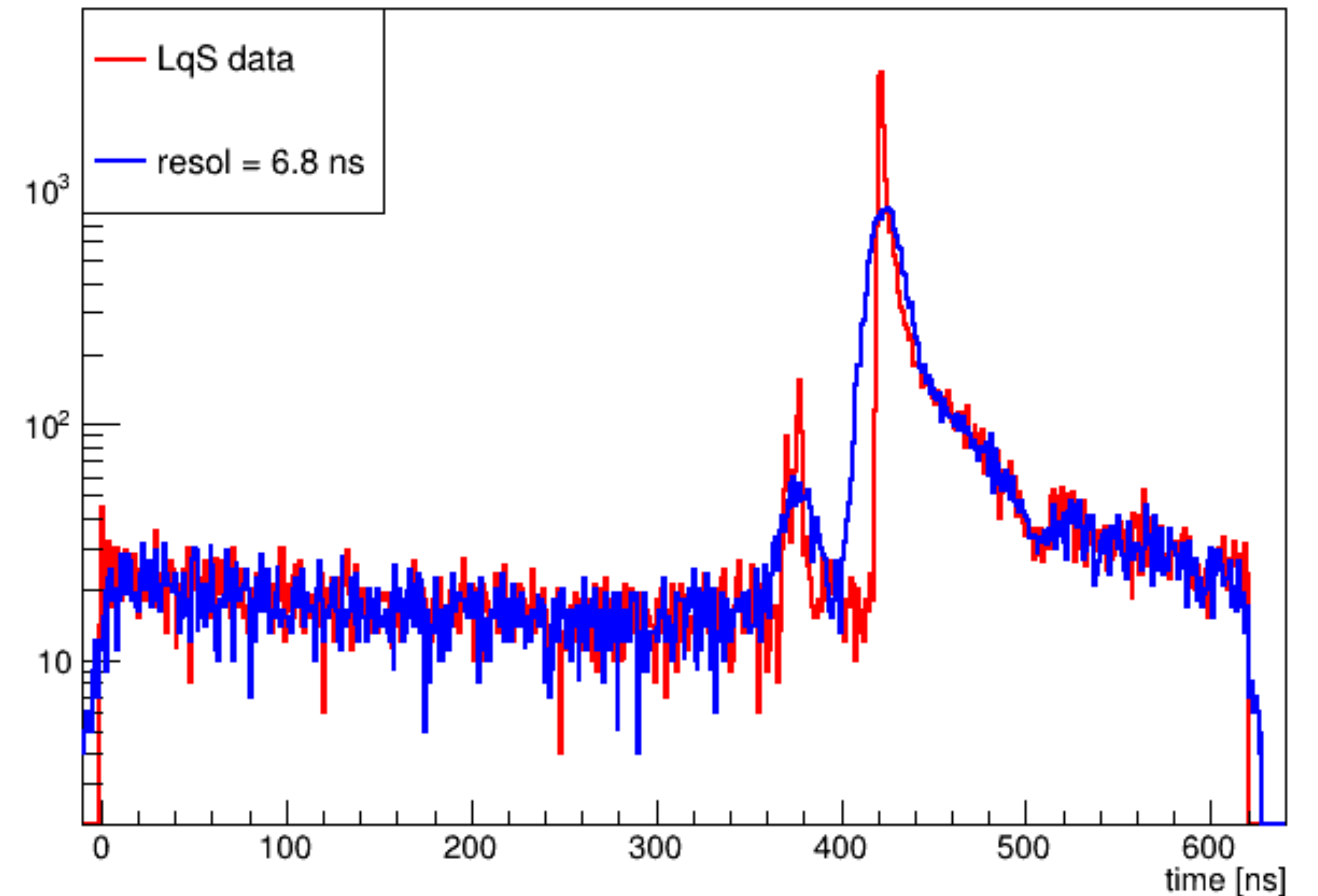
LqSのデータから計算したToFの値
(ToF_{data}) を取ってくる



ToF_{data} の周りで乱数($\sigma = 1.9$ ns)をふり
真の値 (ToF_{true}) を推定

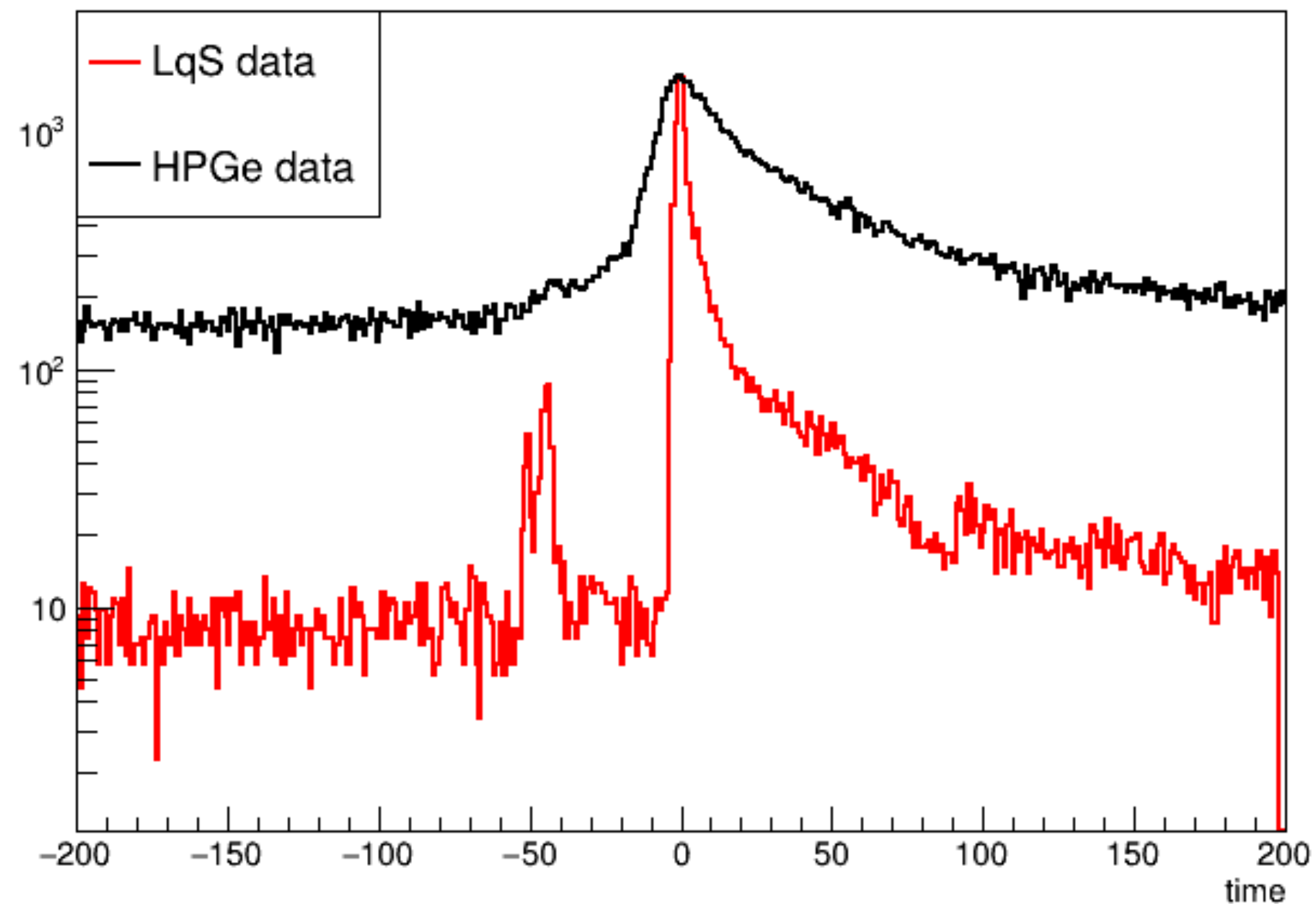


ToF_{true} の周りで乱数($\sigma = 6.8$ ns)をふる

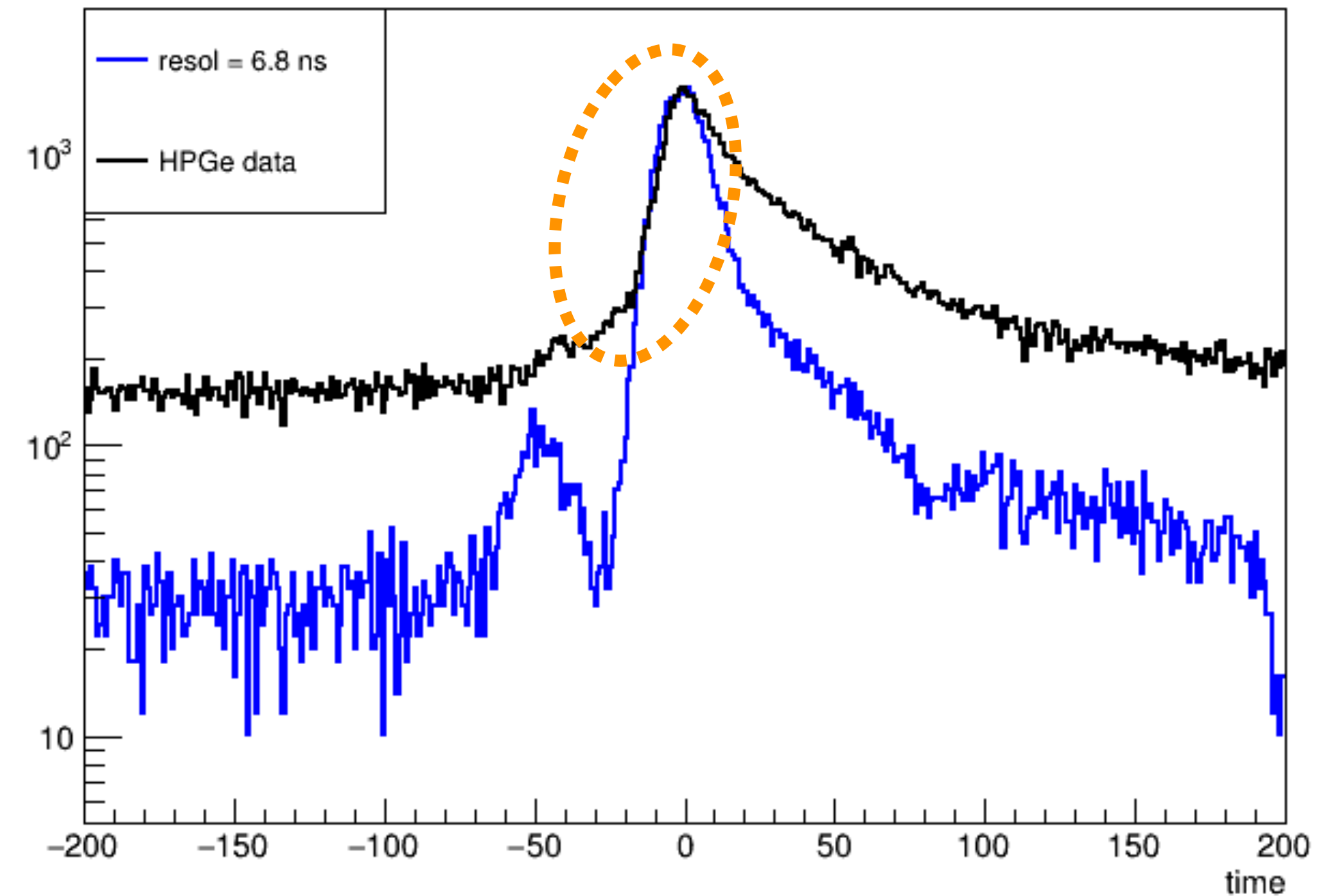


4.5 データとの比較

HPGe data と LqS data



HPGe data と resolution=6.8 nsの分布



- ピークの左半分はよく合っているため、この部分は resolution の違いが原因で分布が広がっている
- ピークの右半分は resolution の違いでは説明できない

今後はこの分布を利用して
on timing カット領域を決めていく

5. まとめ

- SRN探索における大気ニュートリノ由来の背景事象の見積もりには、中性子と酸素原子核の反応の理解が不可欠である
- RCNPでE525実験が行われ、250 MeV実験の解析を進めている

中性子フラックス解析

- SCINFUL-QMDコードを用いてLqSの検出効率を計算した
- 中性子フラックスを求めたところ、220 MeV~250 MeVにピークをもつ分布を得た

ガンマ線解析

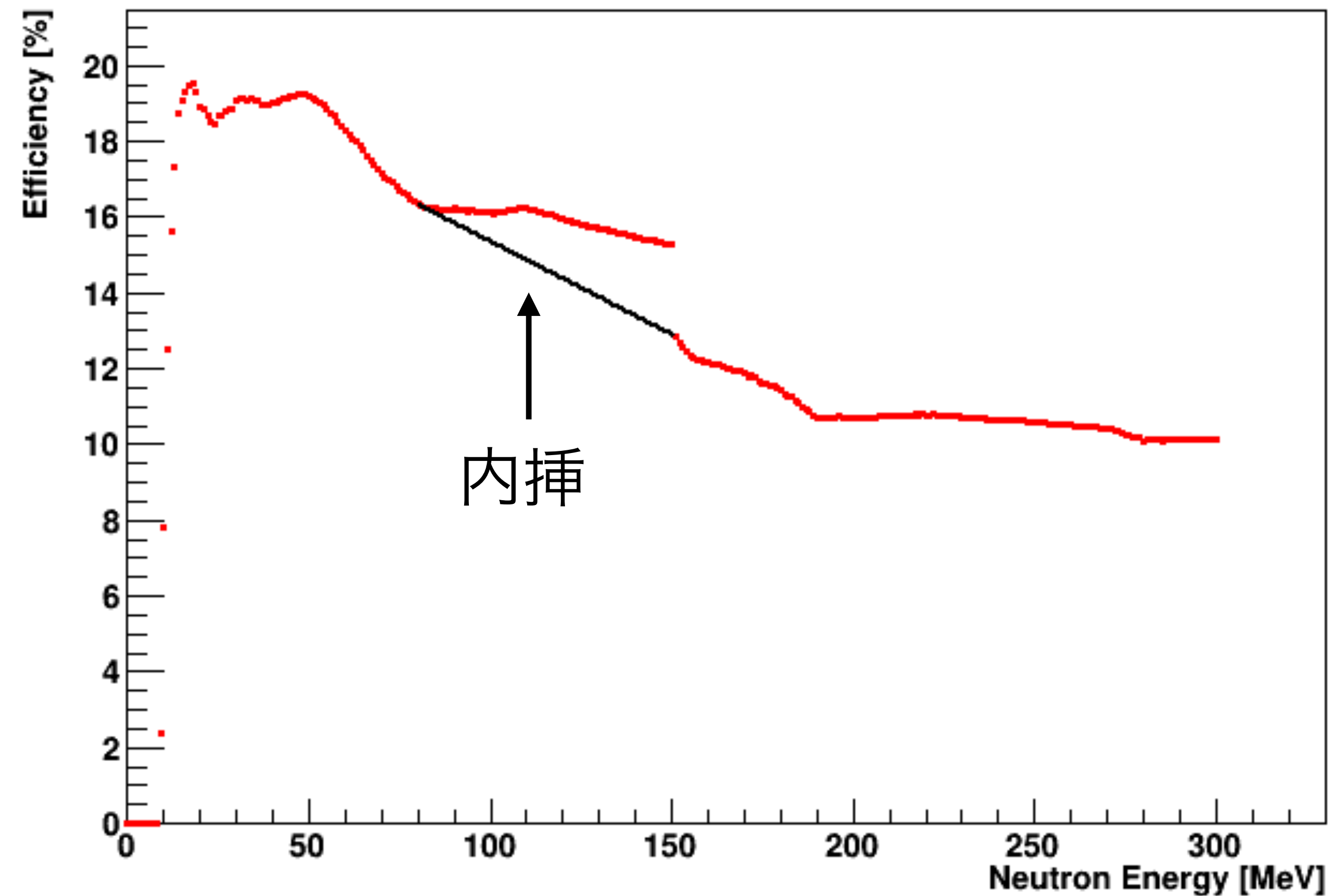
- ガンマ線スペクトラムを求め、複数のピークを確認した
- 分解能をなまらせたToF分布とデータを比較し、ピークの左半分で分布が一致することを確認した

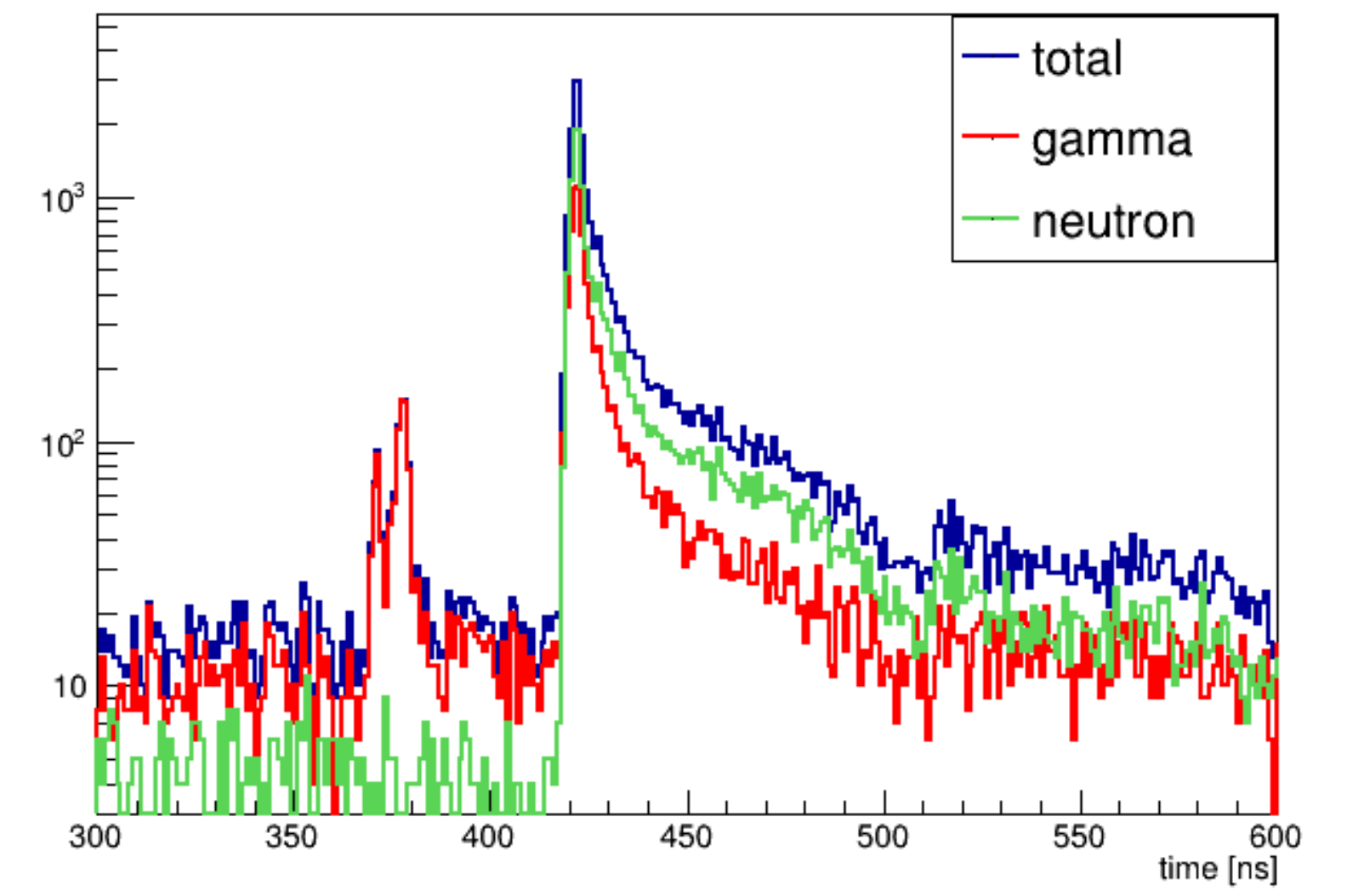
- 今後は、HPGeのToF分布で on timing な領域を決定し、背景事象を取り除いたスペクトラムを求める
- 反応断面積の計算を行う

Back up

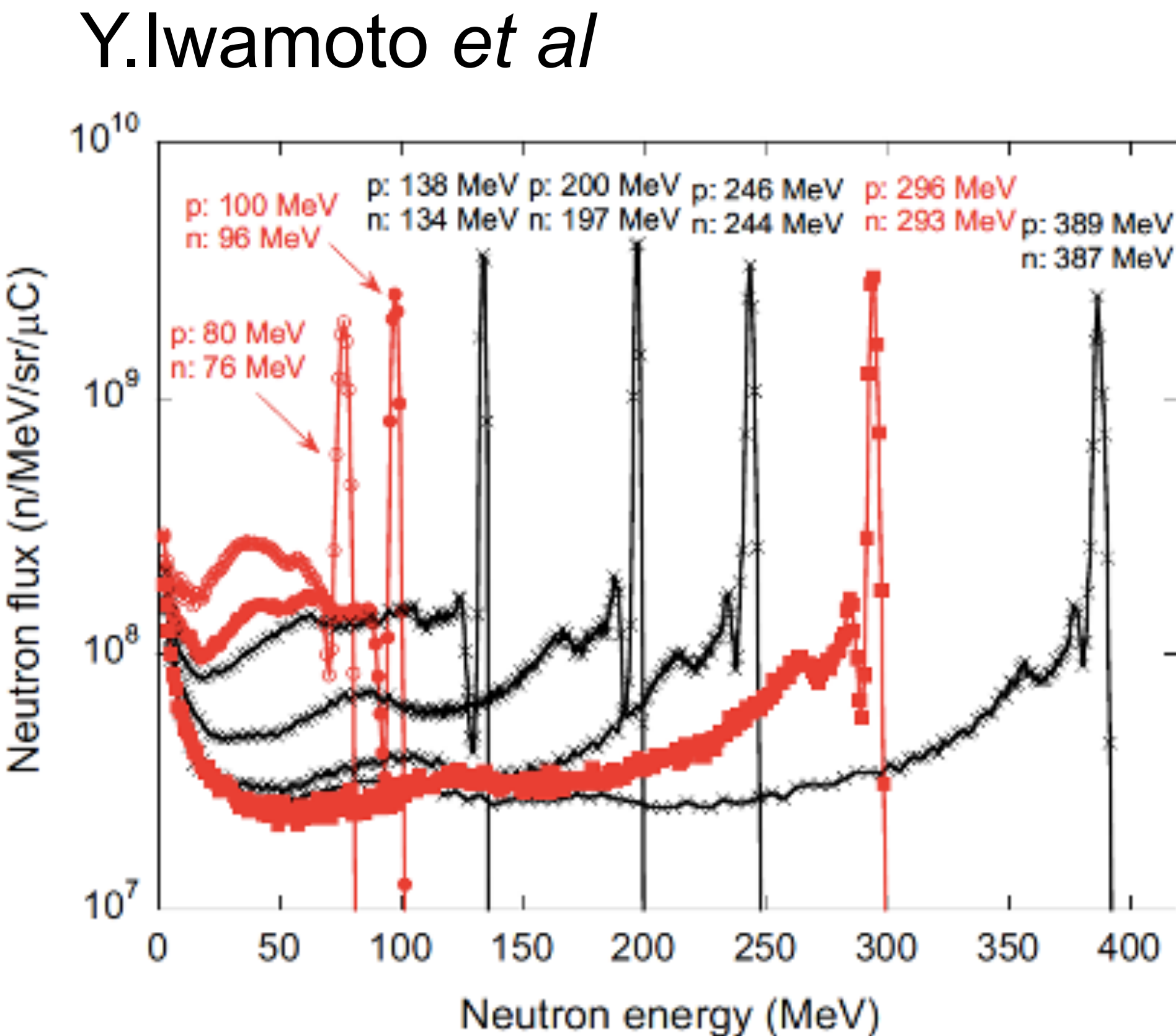
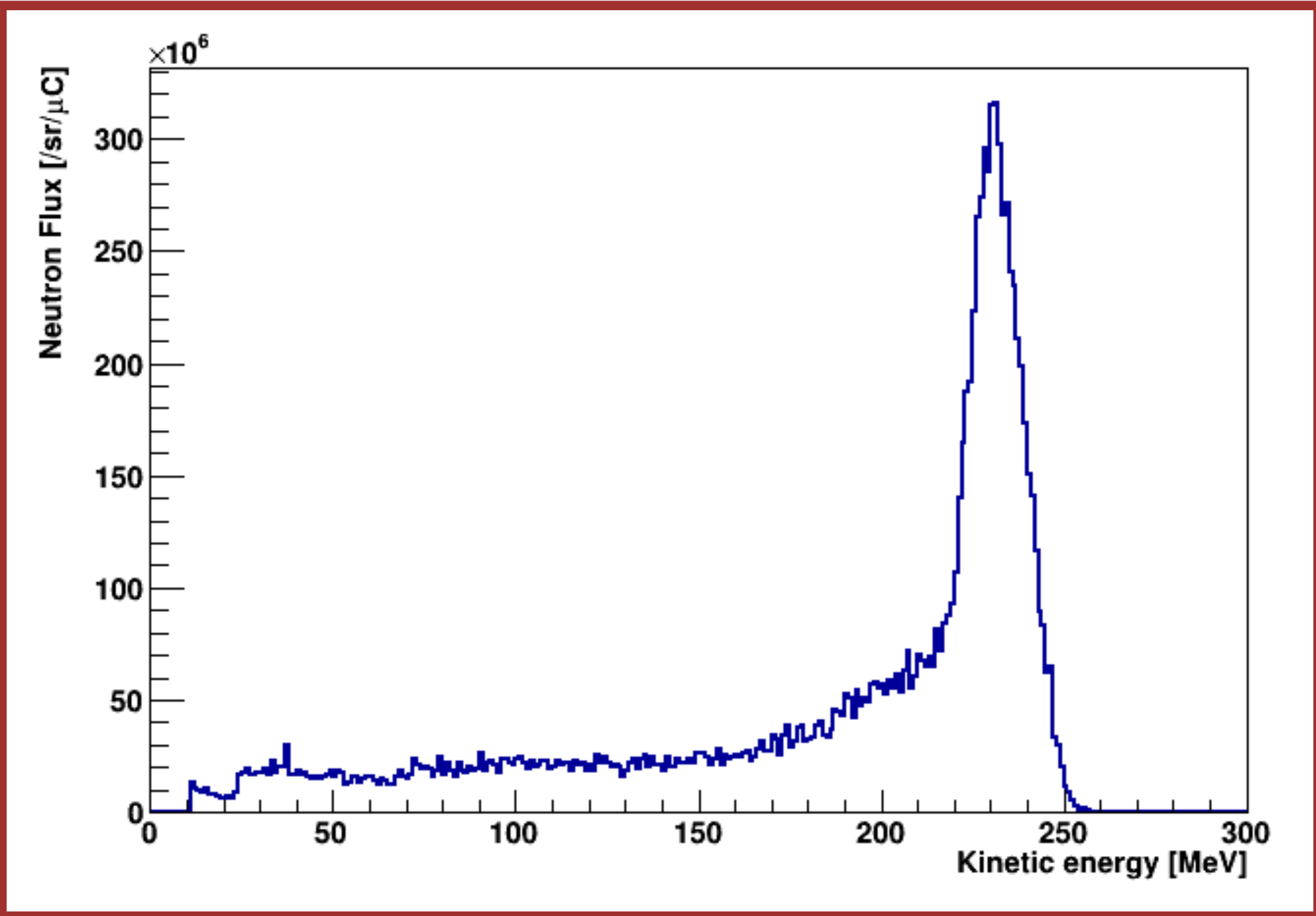
3.1 LqSによる中性子の検出効率

- SCINFUL-QMD コードを用いてLqSの検出効率を計算した
 - ▶ ~150 MeV : SCINFUL
 - ▶ 150 MeV~ : QMD + SDM (核反応模型)
- 80 MeV~150 MeVでは、検出効率を過大評価している
 - 内挿して使用





3.2中性子フラックス

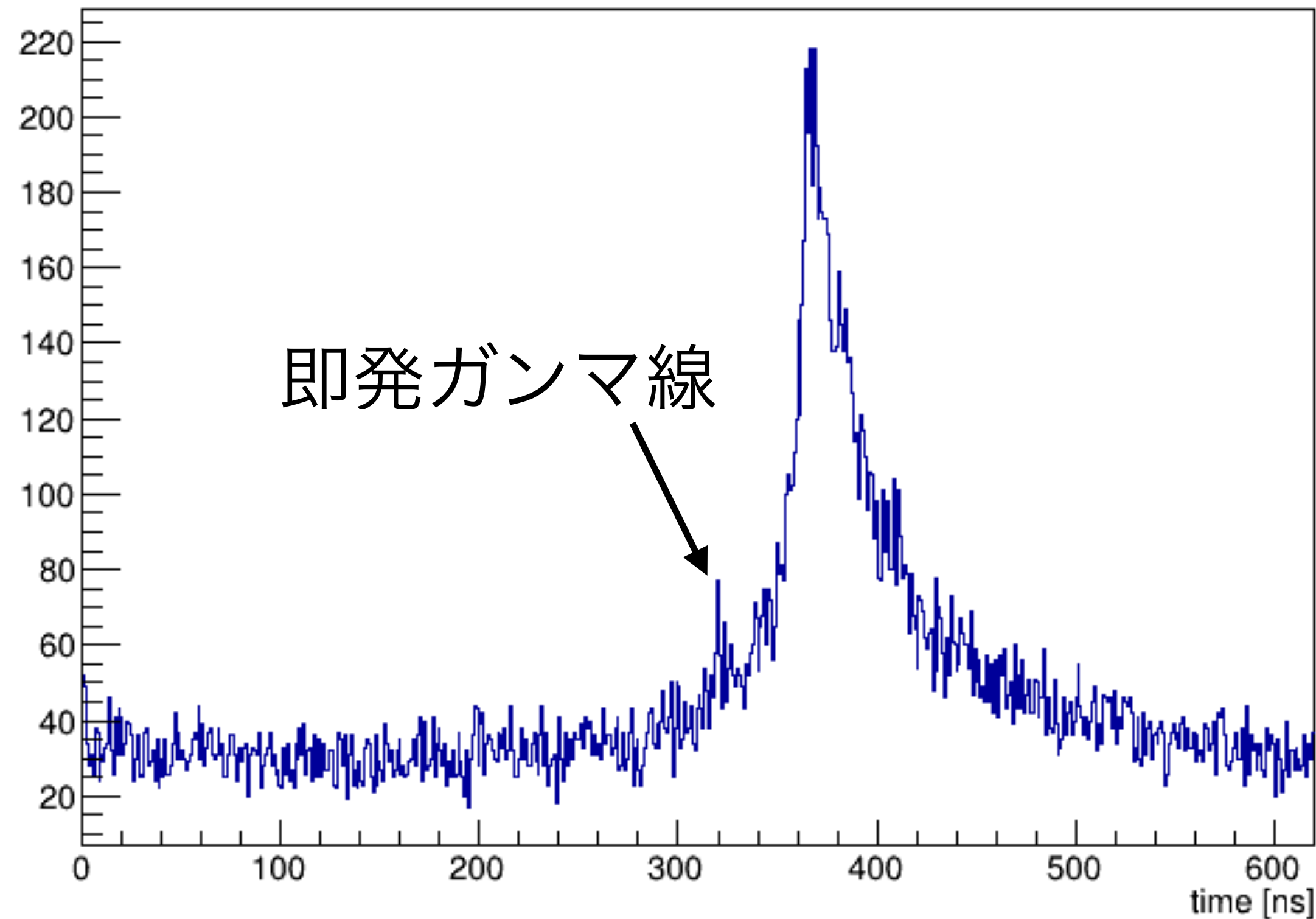


- ピークの積分値
 - ▶ 本研究(250 MeV) : 5.46×10^9
 - ▶ Y. Iwamoto (246 MeV) : 1.05×10^{10}

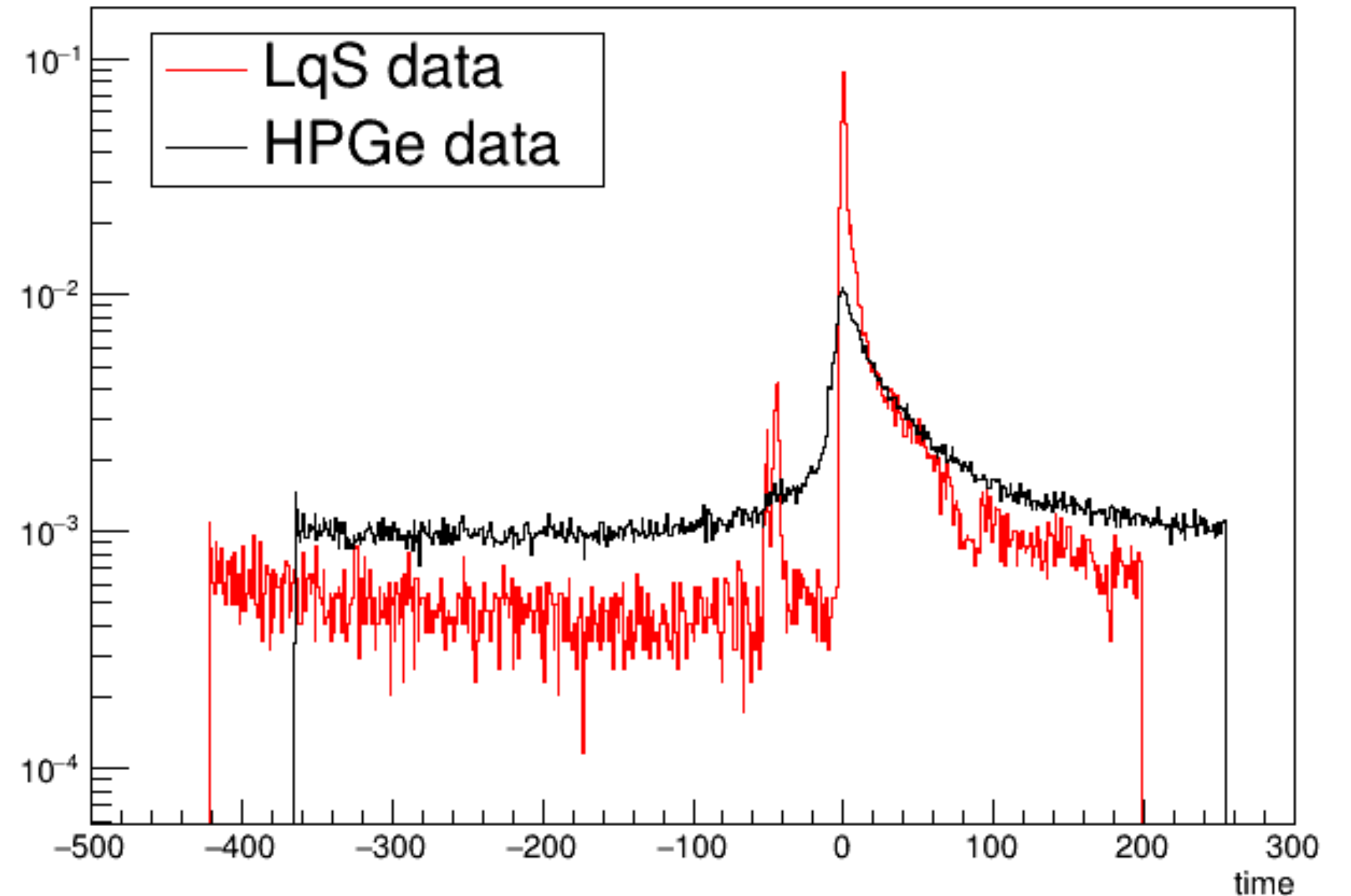
consistent な結果が得られた

4.3 HPGe検出器のToF分布

300 keV~500 keVのイベント



- HPGe検出器はビーム軸上にないため、即発ガンマ線が見えにくい



- HPGeのToF分布は、LqSより広がっている
→ on timing 領域も広げる必要がある
- 時間分解能の違い
 - ▶ LqS : 1.2 ns HPGe : 6.8 ns

4.3 時間分解能の違い

LqSのToF分布(resolution = 1.2 ns)を元に、resolutionが6.8 nsに広がった分布を予測した

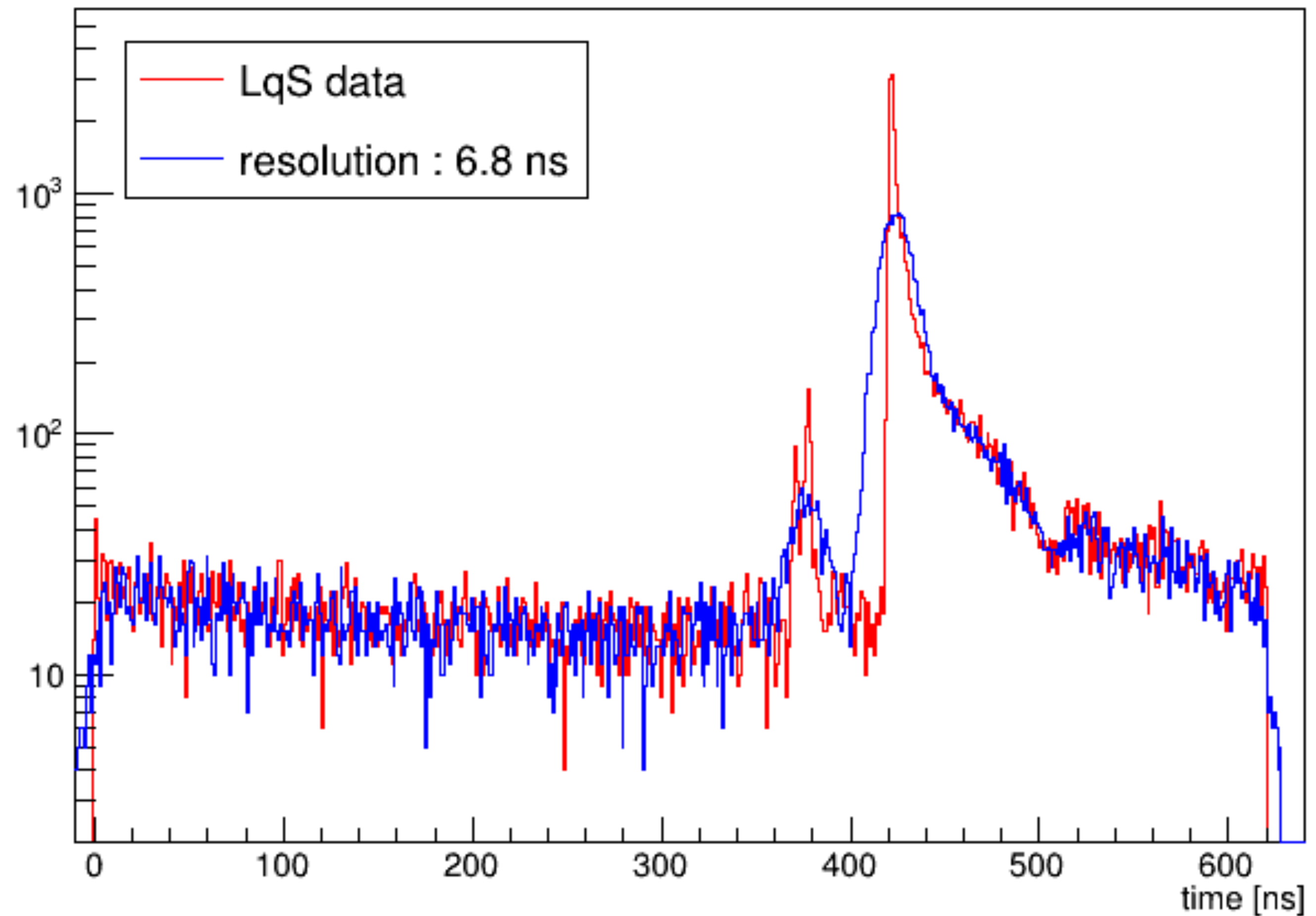
LqSのデータからToFの値を計算



その周りで乱数($\sigma=1.2$ ns)をふり、
真の値 ToF_{true} を推定

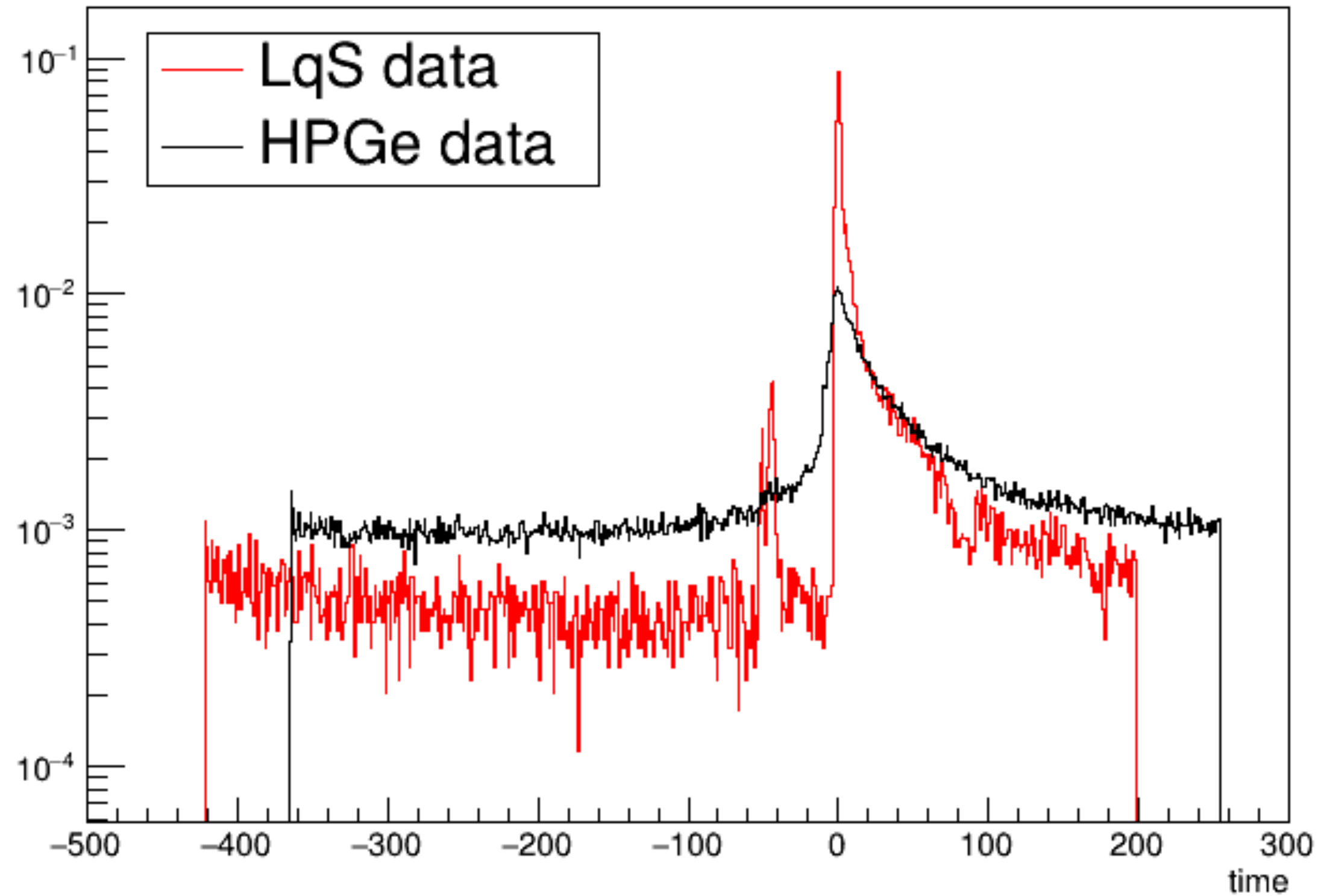


ToF_{true} の周りで乱数($\sigma=6.8$ ns)をふる

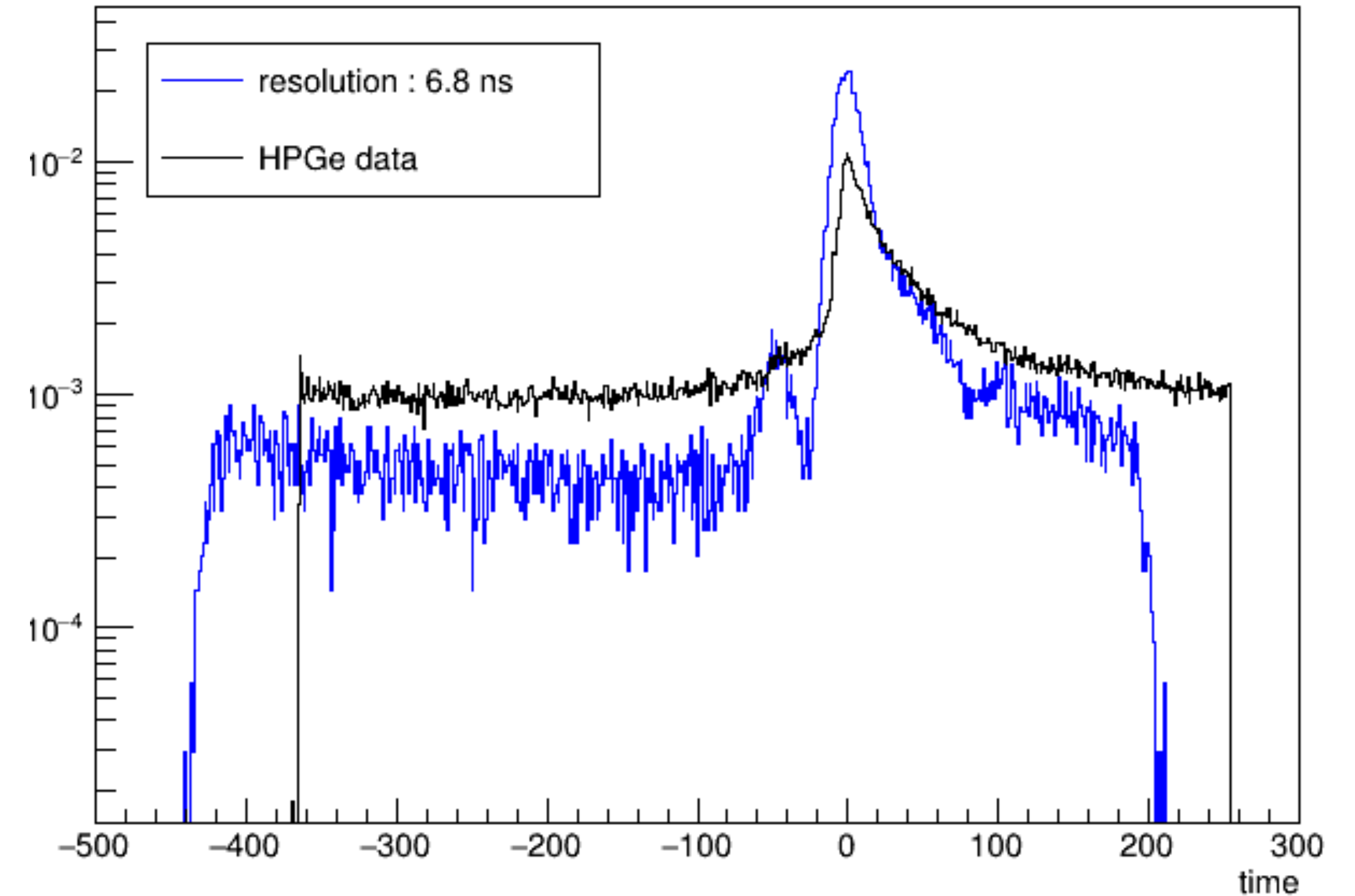


4.3 時間分解能の違い

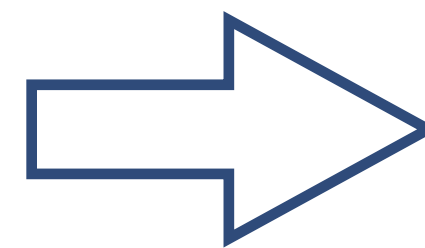
HPGe data と LqS data



HPGe data と resolution=6.8 nsの分布



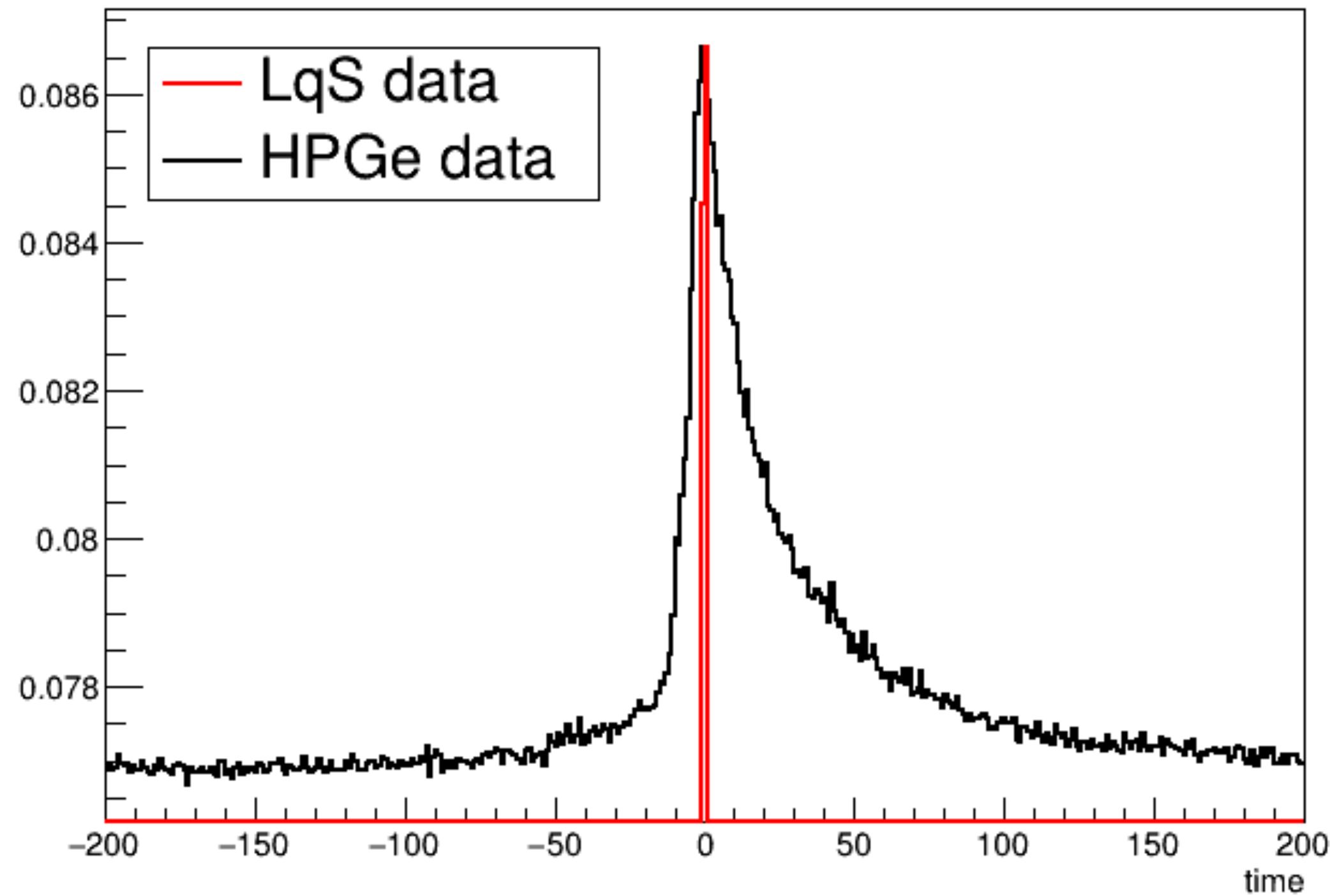
- HPGe data と resolution=6.8 nsの分布は 同程度の広がり をもっている
- 特に、メインピークの立ち上がり部分はよく合っている



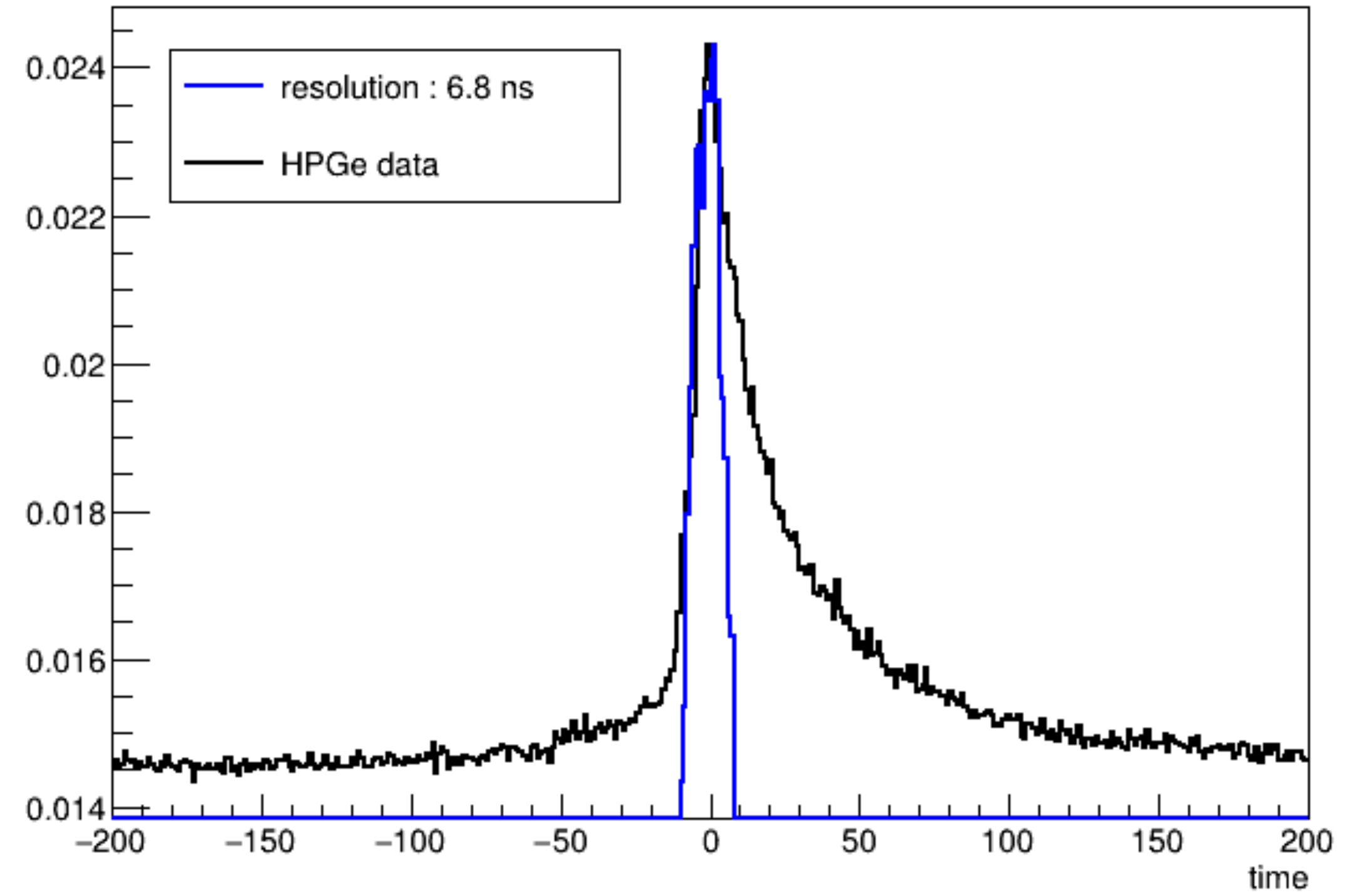
今後はこの分布を利用して
on timing カット領域を決めていく

4.3 時間分解能の違い

HPGe data と LqS data



HPGe data と resolution=6.8 nsの分布



今後はこの分布を利用して
on timing カット領域を決めていく

