

ハイパーカミオカンデにおける 50 cm口径光電子増倍管の ガラス起源バックグラウンド光の評価

慶應義塾大学理工学部物理学科

西村研究室

川島輝能

背景・目的

●ハイパーカミオカンデ

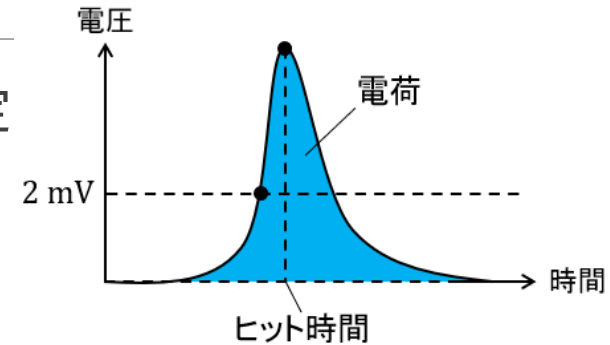
- 2027年実験開始予定の水チェレンコフ宇宙素粒子観測装置
- 50 cm口径光電子増倍管(20インチPMT)を約4万本使用予定
- 陽子崩壊探索, 超新星背景ニュートリノ観測(いずれも未発見事象)etc.

●本研究の目的: 20インチPMTのノイズを低減

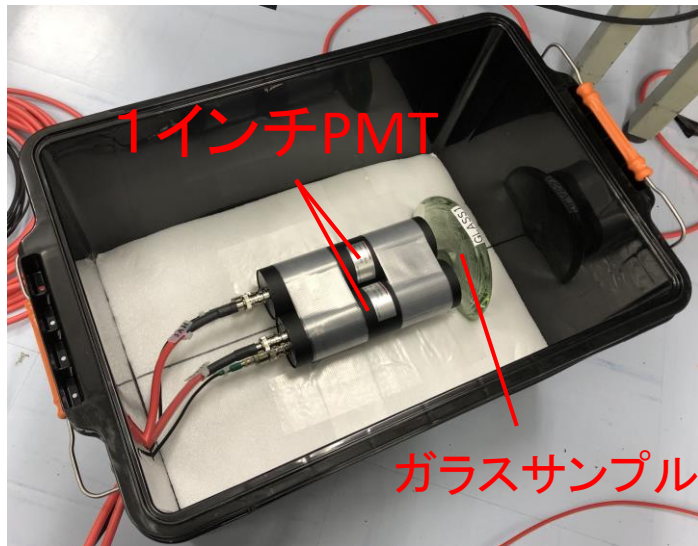
- ノイズの低減に成功すると陽子崩壊や超新星背景ニュートリノに対する感度向上が見込まれる.
- 20インチPMTのノイズに含まれるシンチレーション光というガラス起源の光を, 測定データの中から選択的に除去する方法を考案した.

実験概要

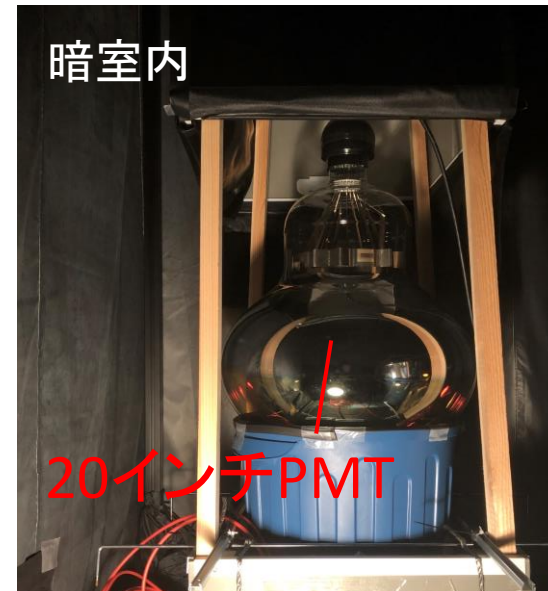
- PMTを暗室内に設置し、オシロスコープを用いてノイズを測定
 - 波高が 2 mV を超えた場合をノイズ信号(1ヒット)とする
 - ノイズ信号の **ヒット時間**, **電荷** を測定
- 2種類の実験系を構築
 - 実験系1: 2つの1インチPMTを使用. **シンチレーション光**の特性を調べるための系
 - 実験系2: 20インチPMTのノイズを測定するための系



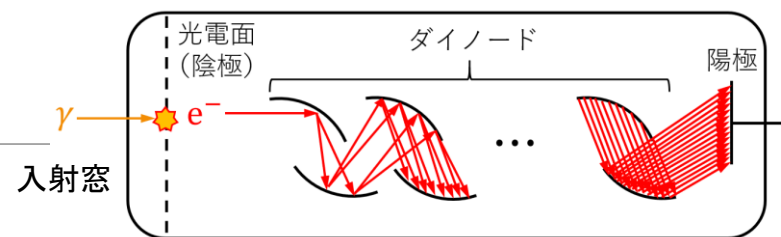
実験系1



実験系2

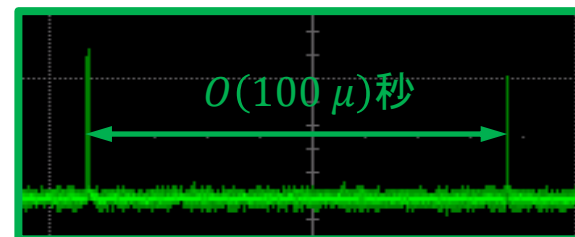


20インチPMTのノイズ



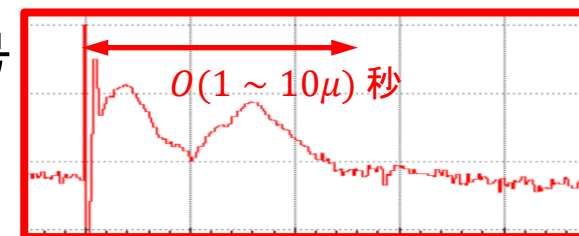
● 熱電子

- PMT の光電面やダイノードから熱電子放出
- $O(100 \mu)$ 秒に1回の頻度でランダムに放出



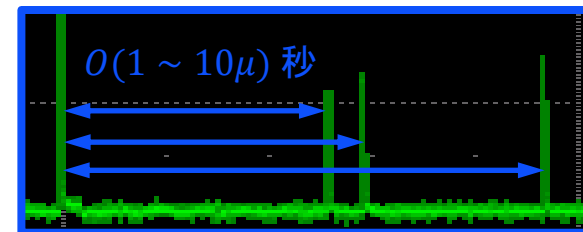
● アフターパルス

- PMTの内部に含まれる残留ガスのイオン化が原因
- 一度信号が来てから $O(1 \sim 10\mu)$ 秒後に来る擬似的な信号



● シンチレーション光 (本研究のテーマ)

- 20インチPMTの入射窓に使われているガラスから発光
- 一度発光が起こると $O(1 \sim 10\mu)$ 秒の時間間隔で断続的に発光
- 最初の発光の電荷が最も大きい傾向にある

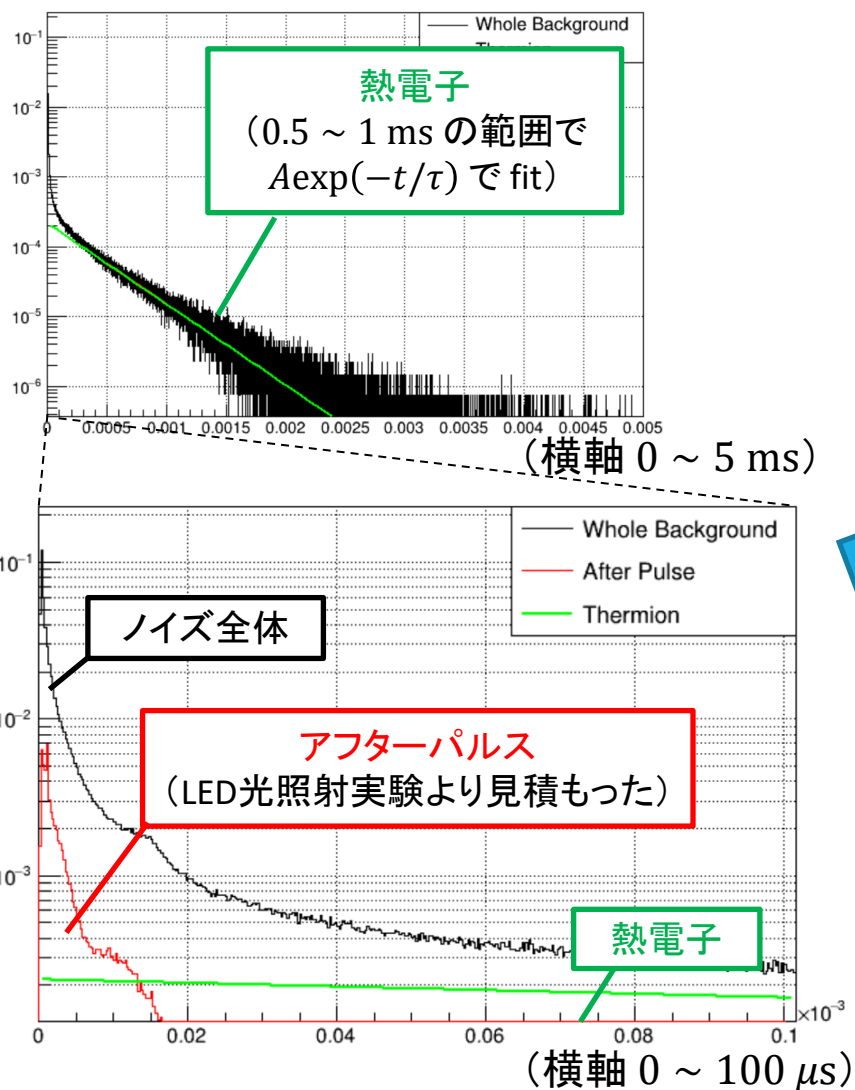


✓ 3種類のノイズは時間的な性質が異なる

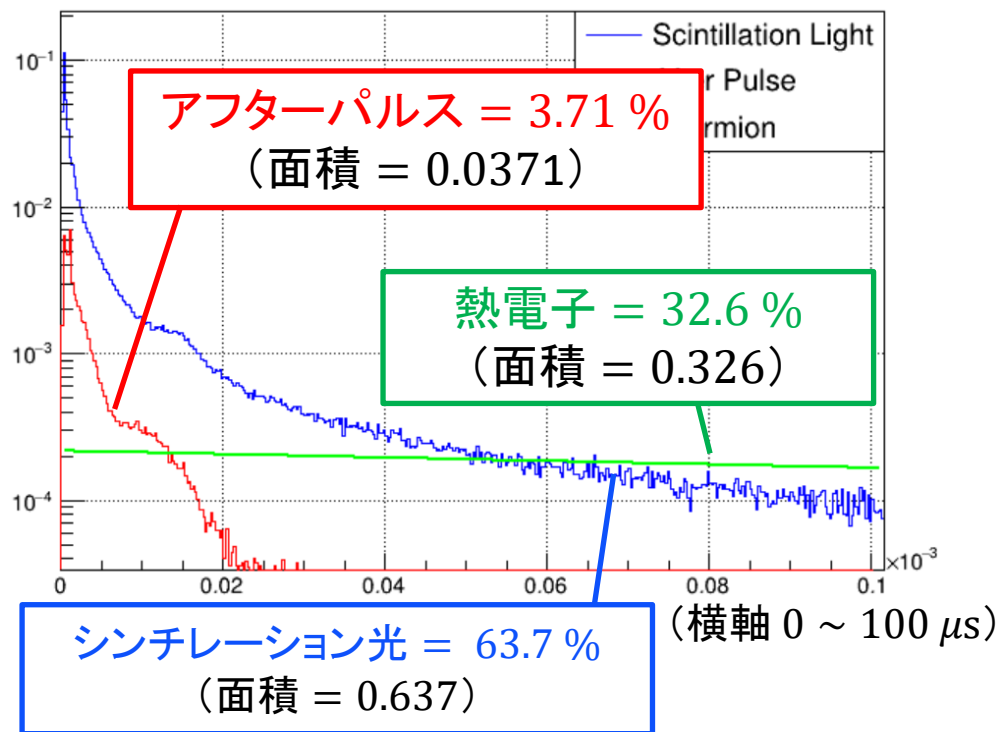
- 隣り合う信号のヒット時間の差 (時間差) に注目し、シンチレーション光を除去するアルゴリズムを考案した

時間差分布からみた各ノイズの割合調査

時間差分布(面積 = 1で規格化)



ノイズ全体からアフターパルスと熱電子を差し引いて残りをシンチレーション光とした

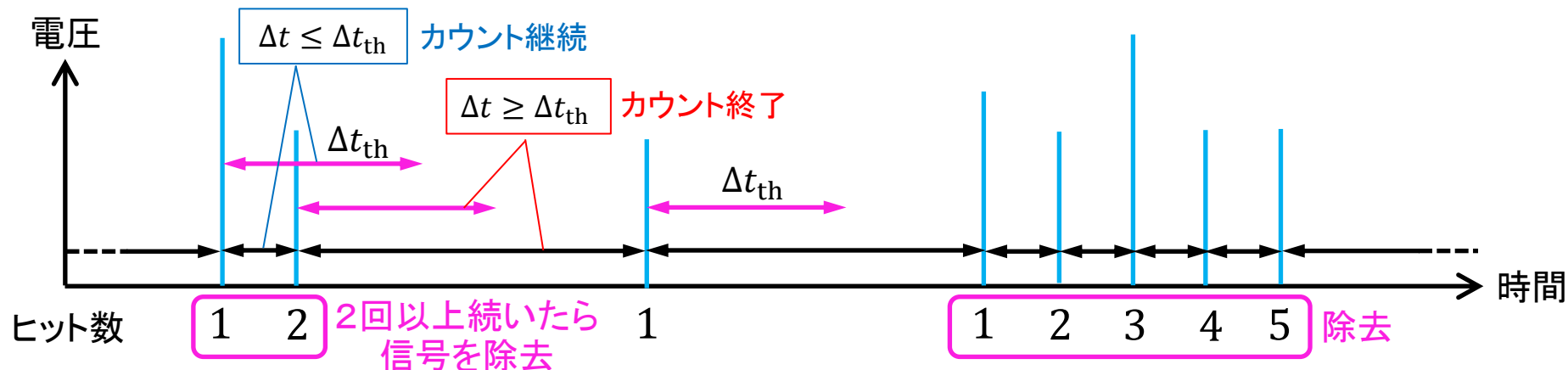


✓ ノイズの半分以上を占めるシンチレーション光の除去が20インチPMTの感度向上につながる

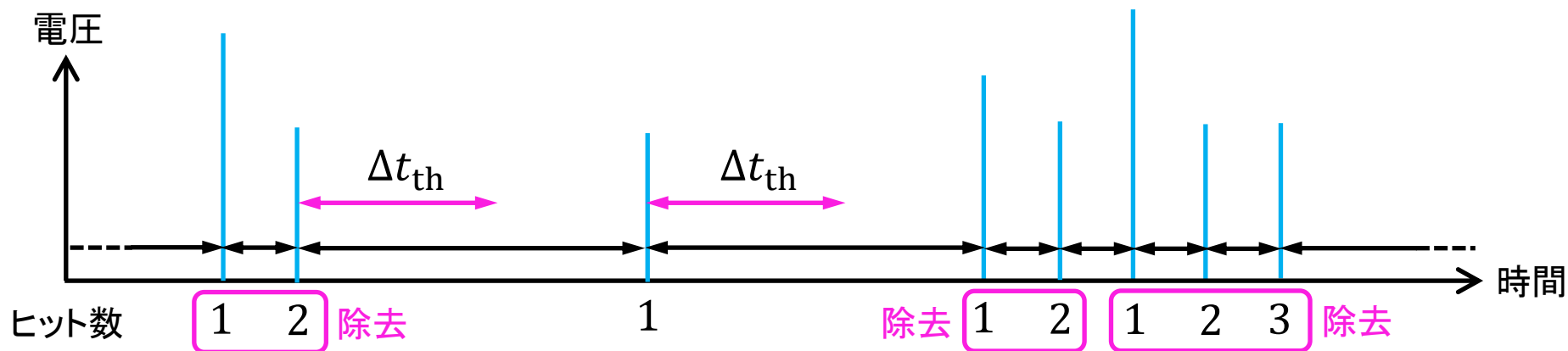
シンチレーション光の除去アルゴリズムを考案

- アルゴリズム1 (時間差 Δt が閾値 Δt_{th} を上回るまでヒット数をカウント)

➤ ヒット数が2回以上続いた場合はシンチレーション光と見なして信号を除去

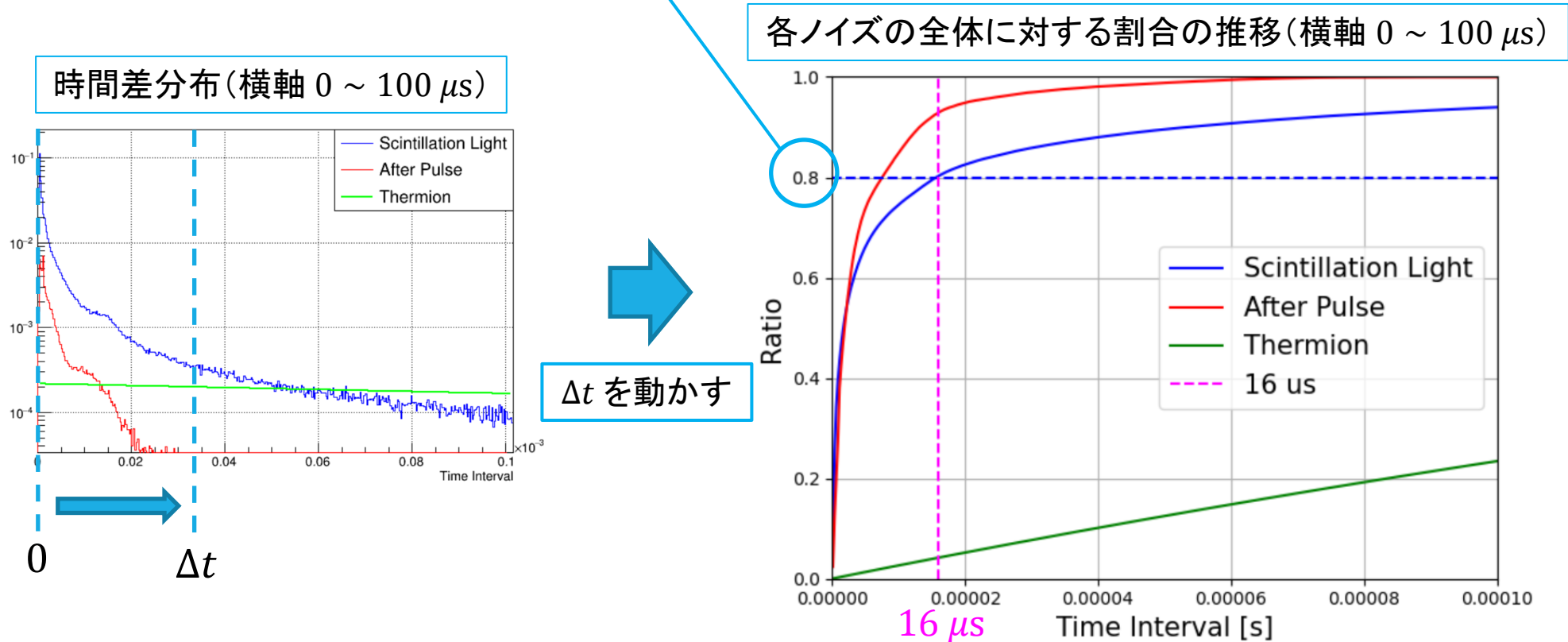


- アルゴリズム2 (アルゴリズム1で数え始めの電荷が必ず最大となるようにカウント)



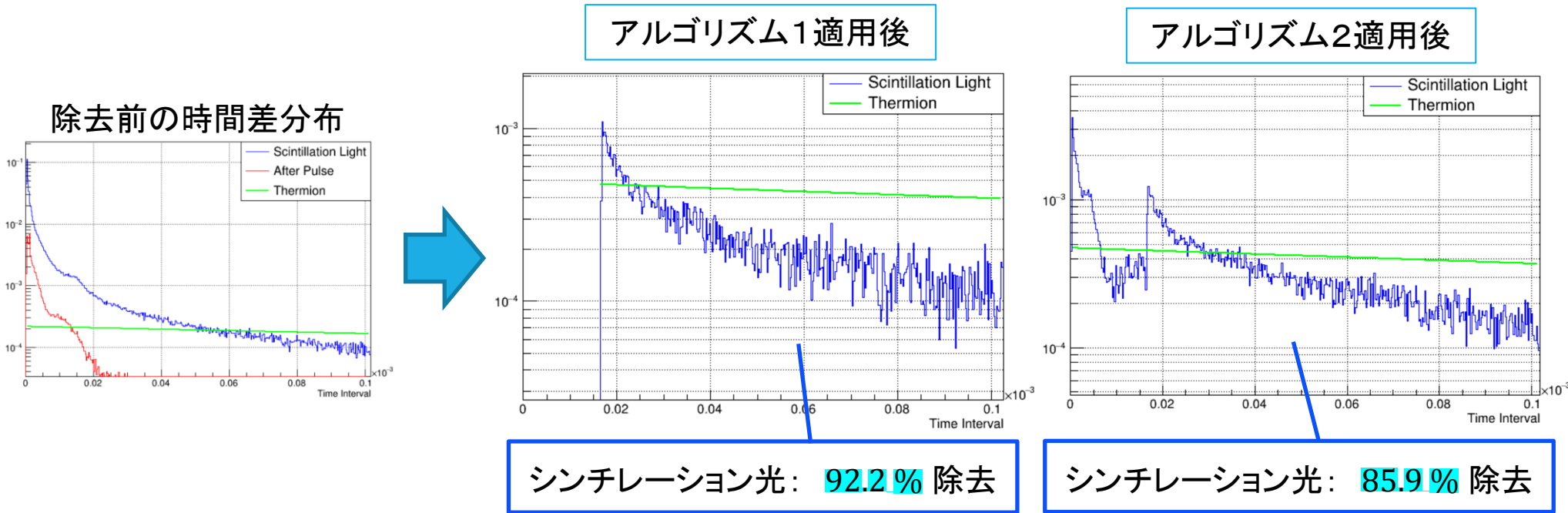
閾値 Δt_{th} の決定

- 時間差分布の面積を用いて閾値 Δt_{th} を決定
 - 各ノイズの総面積に対する区間 $0 \sim \Delta t$ の面積の割合を計算
 - Δt を動かして各ノイズの割合の推移を観察
 - シンチレーション光全体のうち **80.2%** をカバーする $\Delta t_{th} = 16 \mu s$ に決定



アルゴリズムの適用

- もしノイズの中からシンチレーション光を正しく選択できた場合
 - 全シンチレーション光のうち **80.2%** 除去出来ると予想
- 2種類のアルゴリズムを適用した結果

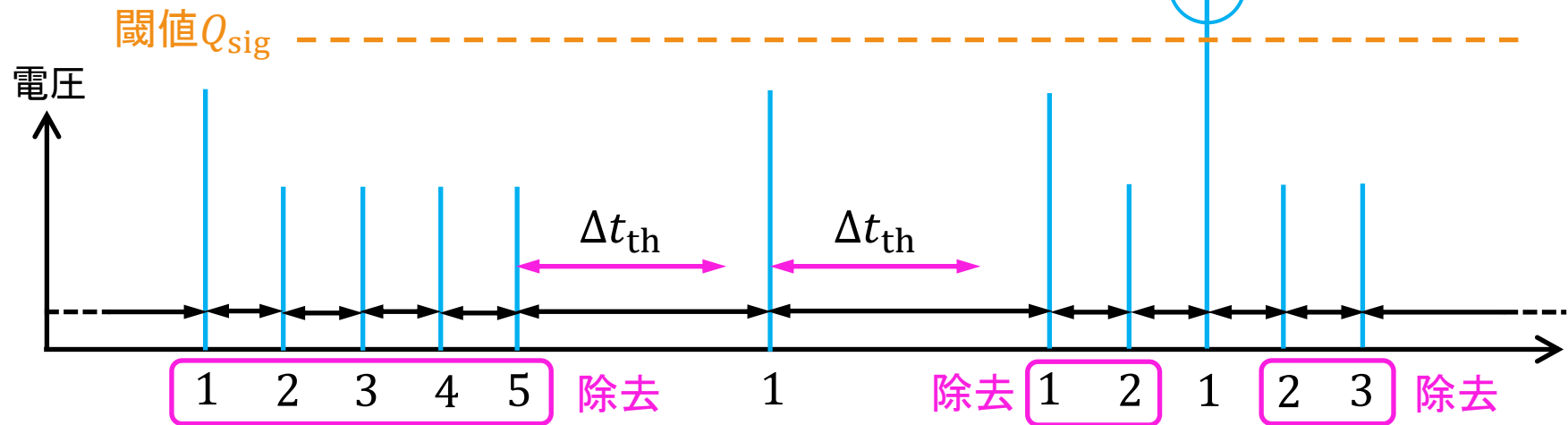


- ✓アルゴリズム2の方が予想除去率 **80.2%** に近い結果となった.
 - シンチレーション光をより正しく選択して除去できたと考えられる.

アルゴリズム実用化に向けた課題

- 観測したい信号そのものが**アフターパルス**を引き起こす可能性
 - 観測対象の信号まで除去してしまうことが懸念
- 時間差の**閾値 Δt_{th}** に加え、信号に対する**閾値 Q_{sig}** を設定
 - 閾値 Q_{sig} を超えた場合は**観測対象として最初の信号だけ残す**

(アルゴリズム2)



- ✓ 今後は閾値 Q_{sig} を決定する合理的な方法を模索

まとめ

✓本研究の目的

- ▶ ハイパーカミオカンデで使用予定の20インチPMTに含まれるノイズからシンチレーション光を選択的に除去するアルゴリズムを考案

✓アルゴリズムの考案

- ▶ 時間差の閾値 Δt_{th} 上回るまでヒット数をカウントするアルゴリズム1と、さらに電荷情報を取り入れたアルゴリズム2を考案した。

✓アルゴリズムの適用

- ▶ アルゴリズム2の方がシンチレーション光の予想除去率に近かった。
- ▶ ノイズ中のシンチレーション光をより正しく選択して除去したと考えられる。

✓アルゴリズム実用化に向けた課題

- ▶ 観測したい信号まで除去する可能性
- ▶ 信号に対する閾値 Q_{sig} を設定して観測したい信号を残すことが必要

ご静聴ありがとうございました

back up

熱電子とアフターパルス(詳細)

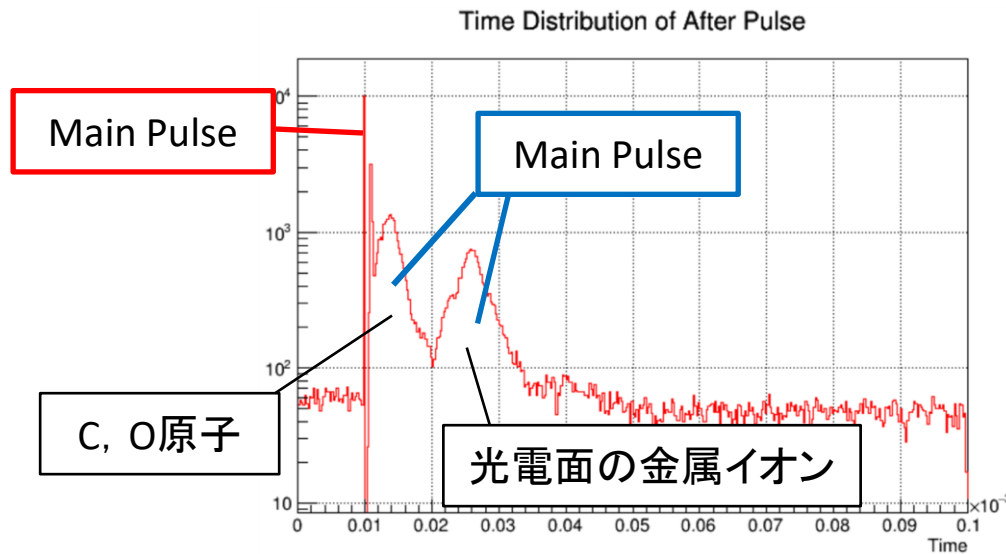
●熱電子による電流

➤リチャードソン=ダッシュマンの式

$$i = AT^{\frac{5}{4}} \exp\left(-\frac{e\psi}{KT}\right)$$

ただし, ψ は仕事関数, K はボルツマン定数

●アフターパルスの見積もり



$$\frac{\text{After Pulse Charge}}{\text{Main Pulse Charge}} = 0.0371$$

シンチレーション光の除去アルゴリズムの考案

● 信号が連続的に何回ヒットするかをカウント(ベースとなる考え)

① 隣り合う信号の時間差 Δt を計算

② 時間差 Δt と閾値 Δt_{th} の大小を比較

• $\Delta t \leq \Delta t_{th}$ の場合: カウントして手順①に戻る

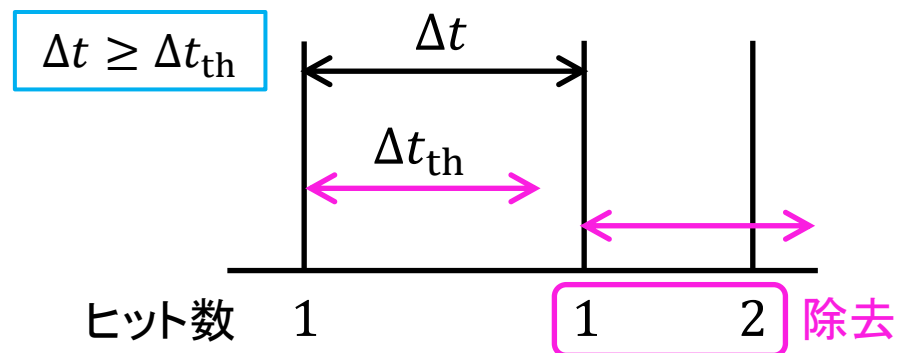
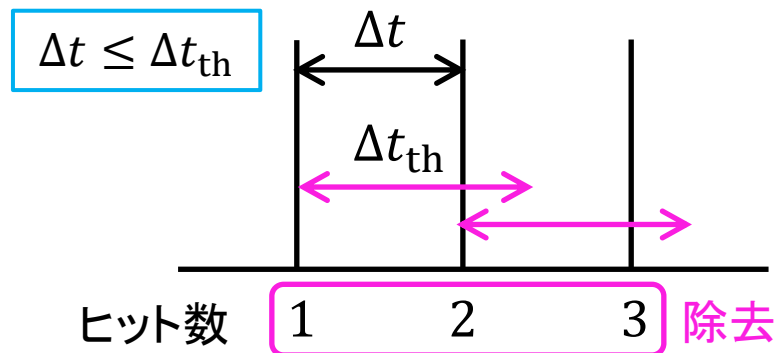
• $\Delta t \geq \Delta t_{th}$ の場合: カウントせずに手順③へ

③ ヒット数について

• 1の場合 : 信号を残す

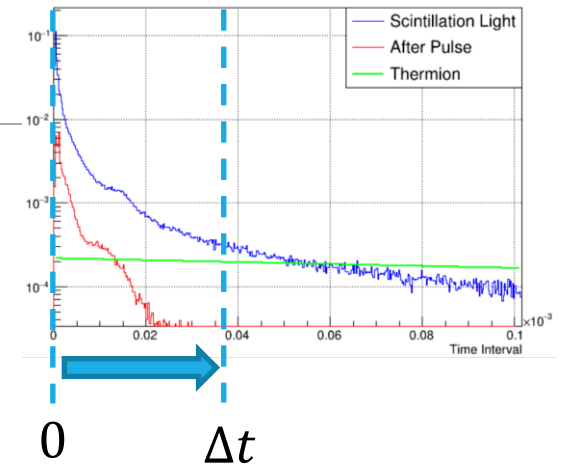
• 2以上の場合: シンチレーション光と見なしてカウントされた信号を全て除去

④ 手順①に戻る

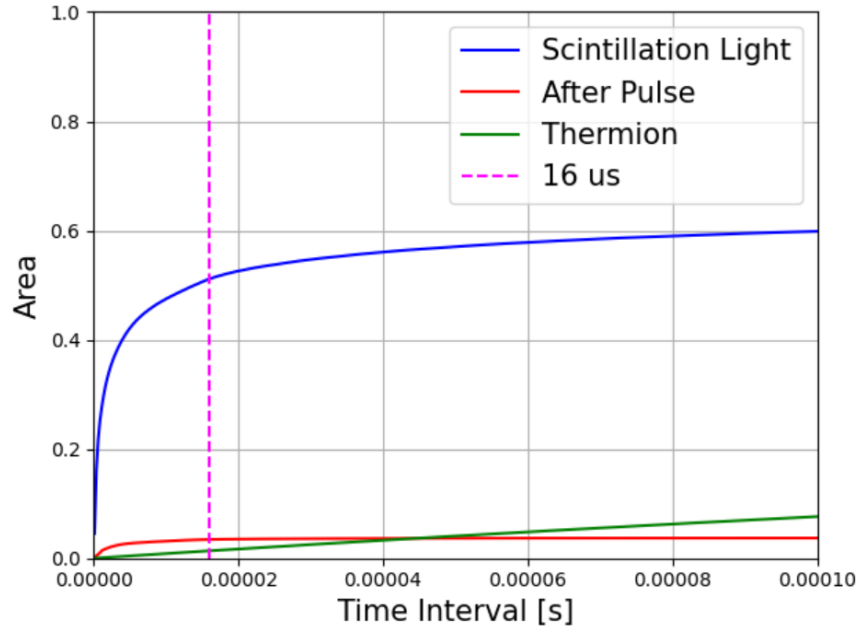


閾値 Δt_{th} の決定

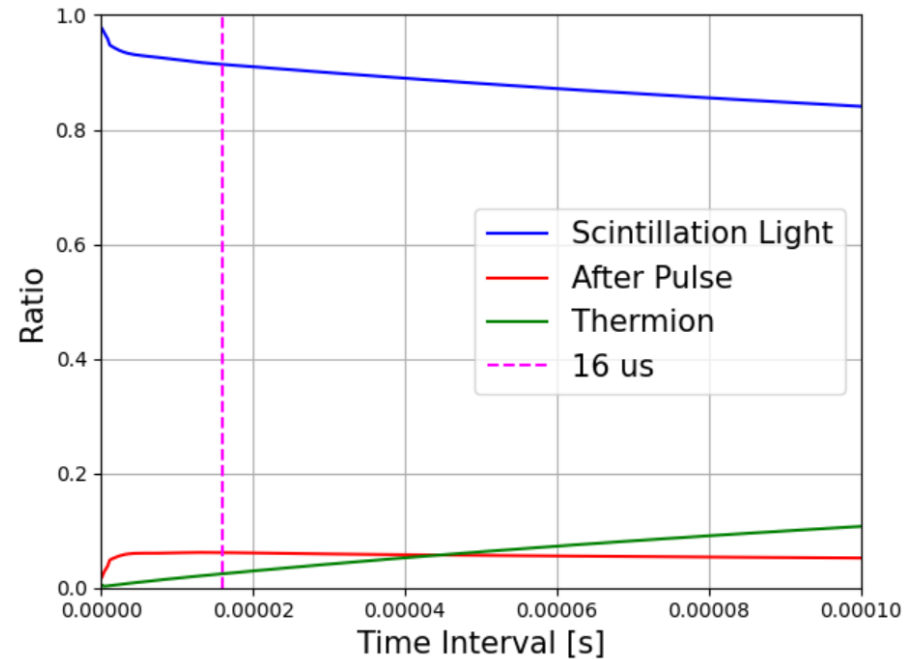
1. 総面積に対する割合の推移
2. 面積の推移
3. 3種類のノイズの合計に対する比の推移



2. 面積の推移

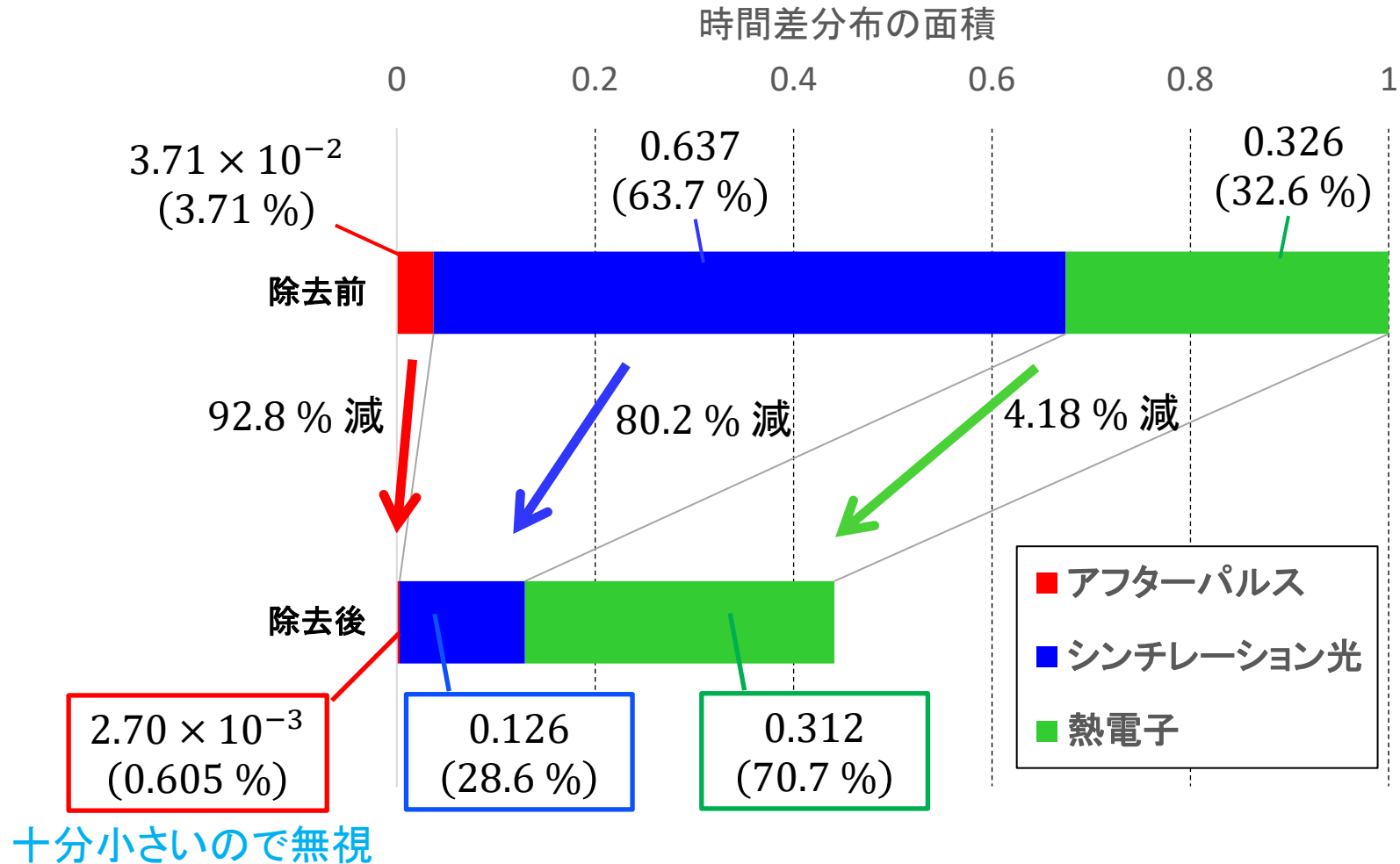


3. 3種類のノイズの合計に対する比の推移



アルゴリズムの性能予想

- $\Delta t_{th} = 16 \mu s$ のときの性能予想



閾値 ΔQ_{sig} の決定方法の模索

- DBSCAN (Density-based Spatial Clustering of Applications with Noise)

- パラメータ: クラスターの個数, 隣接点の距離, 最小点の個数
- クラスターに属さない点はノイズと見なされる

