

# J-PARC KI.IBR Beam Lineを用いた250L 液体アルゴンTPC検出器の性能評価Part II

早稲田大学 寄田浩平研究室

修士1年 岡本 迅人

2011/02/21(月)ICEPPシンポジウム@白馬村岳美荘

# Outline

## ❖ Introduction

- ❖ 液体アルゴンTPCとは
- ❖ 狙う物理
- ❖ 核子崩壊

## ❖ J-PARC Beam Test

- ❖ 実験目的
- ❖ J-PARC KI.IBR
- ❖ 250L検出器

## ❖ 解析

- ❖ 読み出しと再構成
- ❖ 宇宙線 $\mu$ による純度測定
- ❖ 液体アルゴングループの目標
- ❖ Beam Test Motivation
- ❖ 解析Algorithm
- ❖ 解析Algorithmのチェック
- ❖  $dE/dx$ 算出
- ❖ Summary & Future Plan

# Outline

## ❖ Introduction

- ❖ 液体アルゴンTPCとは
- ❖ 狙う物理
- ❖ 核子崩壊

## ❖ J-PARC Beam Test

- ❖ 実験目的
- ❖ J-PARC KI.IBR
- ❖ 250L検出器

## ❖ 解析

- ❖ 読み出しと再構成
- ❖ 宇宙線 $\mu$ による純度測定
- ❖ 液体アルゴングループの目標
- ❖ Beam Test Motivation
- ❖ 解析Algorithm
- ❖ 解析Algorithmのチェック
- ❖ dE/dx算出
- ❖ Summary & Future Plan

Geant4によるSimulation

# 液体アルゴングループの目標

- ❖  $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_e (\bar{\nu}_{\mu} \rightarrow \bar{\nu}_e)$  振動におけるCP対称性の破れの探索
  - ❖ CP対称性の破れの検出のためには大質量・高性能の遠方検出器が必要
  - ❖ 主な背景事象となる $\nu_{\mu}$ からの $\pi^0$ を効率的に除去できる検出器が有利
- ❖ 核子崩壊
  - ❖  $P \rightarrow \nu K^+$ : SUSY理論では分岐比が多いと予想
  - ❖ 荷電K中間子の識別能力が高い検出器が有利
- ❖ 暗黒物質探索
  - ❖ 暗黒物質の反跳エネルギーに対して閾値が低い検出器が有利
  - ❖ S2/S1で背景事象を除去できる

液体アルゴンTPC検出器はこれらの目標に特化した検出器

# J-PARC to Okinoshima

- 100ktの液体アルゴン検出器を隠岐の島に設置し、大強度化されたニュートリノビームを用いることで、ニュートリノの物質・反物質非対称性パラメータ $\delta$ の発見を目指す。
- 同時に核子崩壊実験を行い、大統一理論の解明を行う。

東海村から  
~658km、 $0.8^\circ$

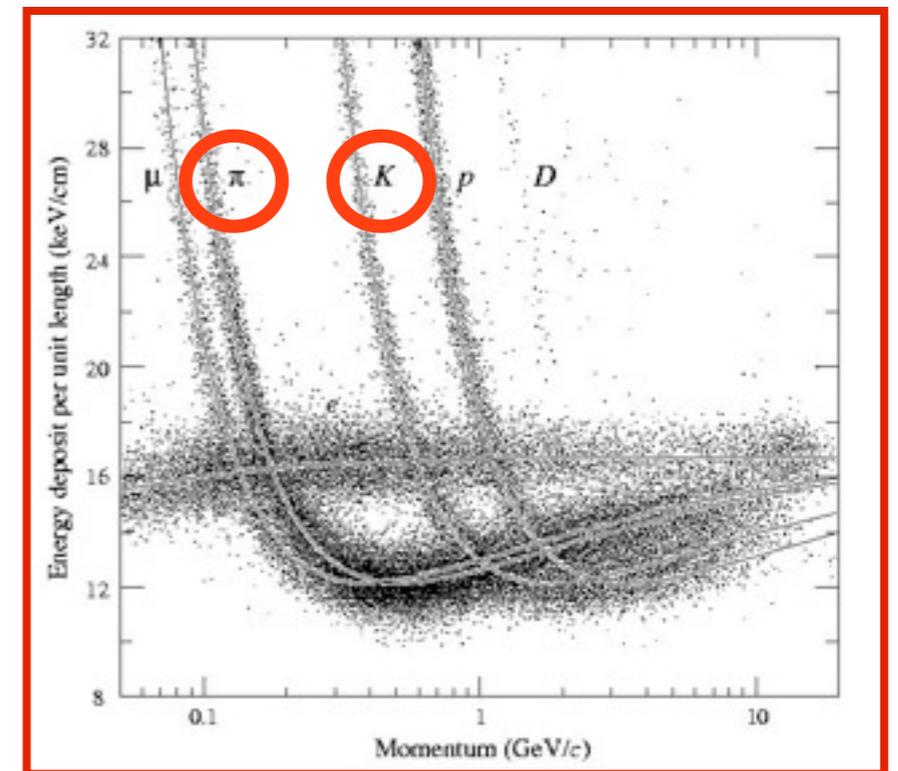
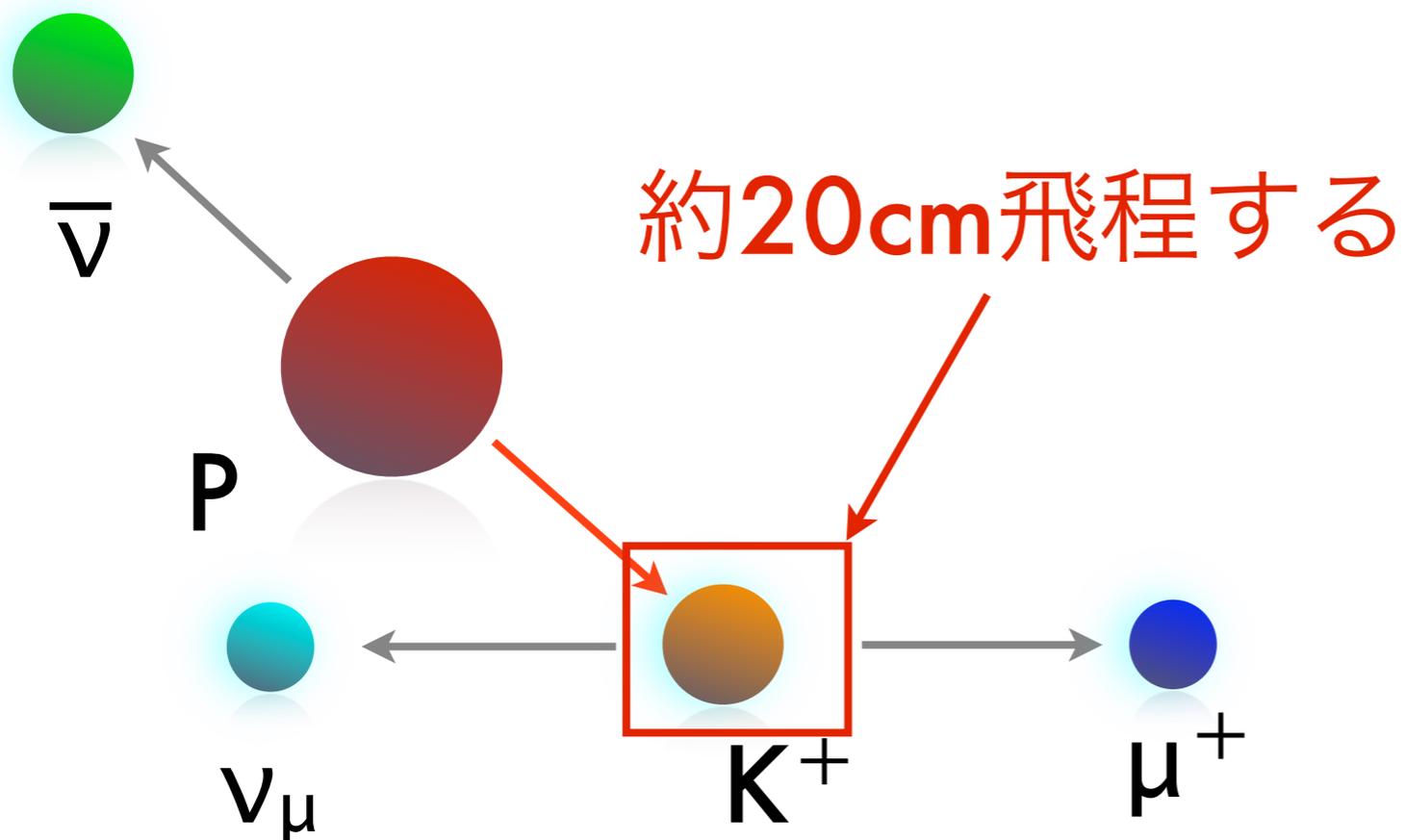


KEKでは大型化(100kt)などに向けての初段階として、250L容器でR&Dを進めている。

# Beam Test Motivation

## 陽子崩壊探索のためのK/ $\pi$ 識別能力の測定

- ❖ 陽子崩壊時の $K^+$ の運動量は $340\text{MeV}/c \sim 20\text{cm}$ 飛程し崩壊する。
  - ➔ 粒子の崩壊点を定義し、そこから $20\text{cm}$ 遡って $dE/dx$ を算出する

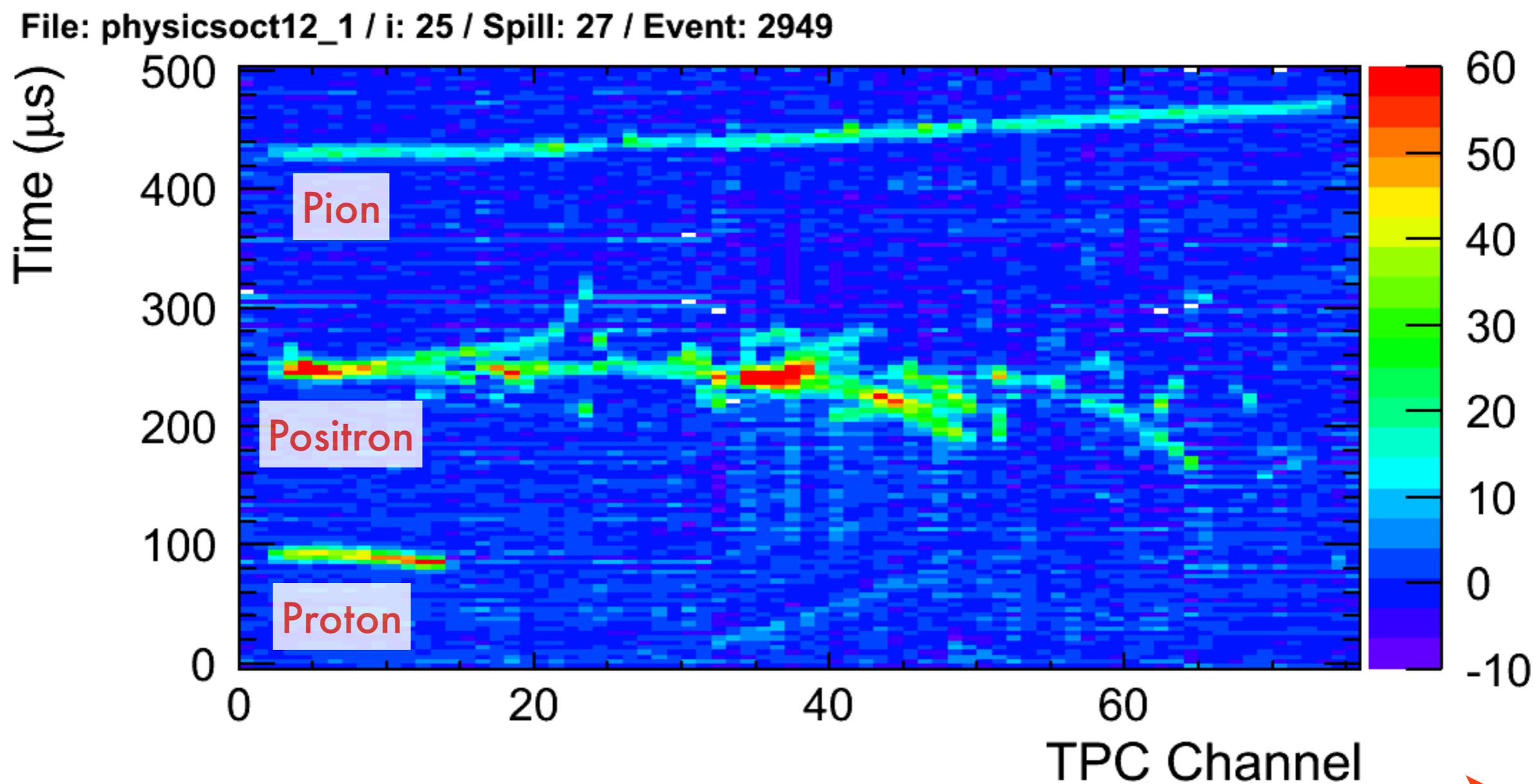


Bethe-Bloch

# イベント例(実データ)

電子のドリフト方向

信号の強さ



ビーム入射方向

# Kaon Event display

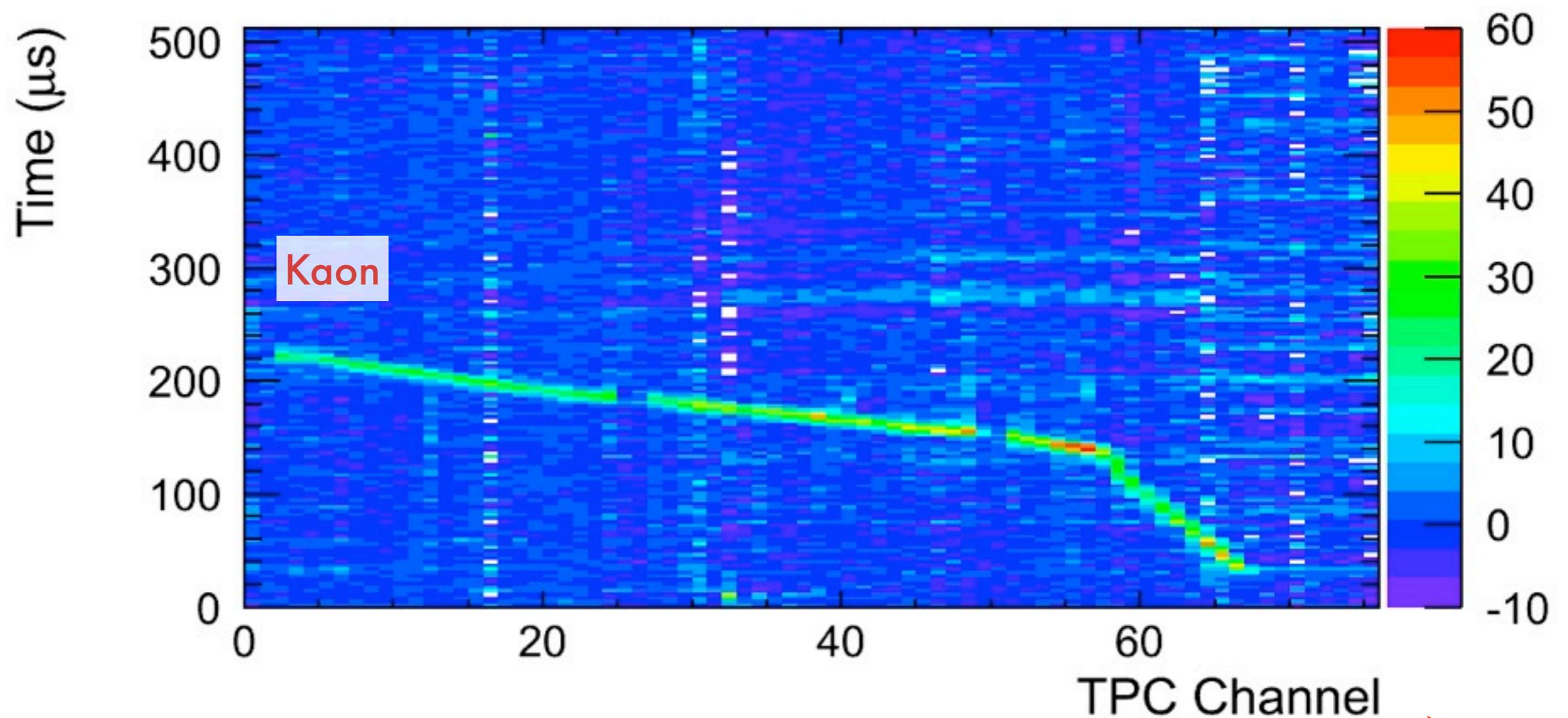
Kaonの崩壊モード

- ❖  $\mu^+\nu_\mu$  (約63.4%)
- ❖  $\pi^+\pi^0$  (約21.1%)
- ❖  $\pi^+\pi^+\pi^-$  (約5.6%)
- ❖  $\pi^0e+\nu_e$  (約4.9%)
- ❖  $\pi^+\pi^0\pi^0$  (約1.7%)

# イベント例(実データ)

電子のドリフト方向

信号の強さ

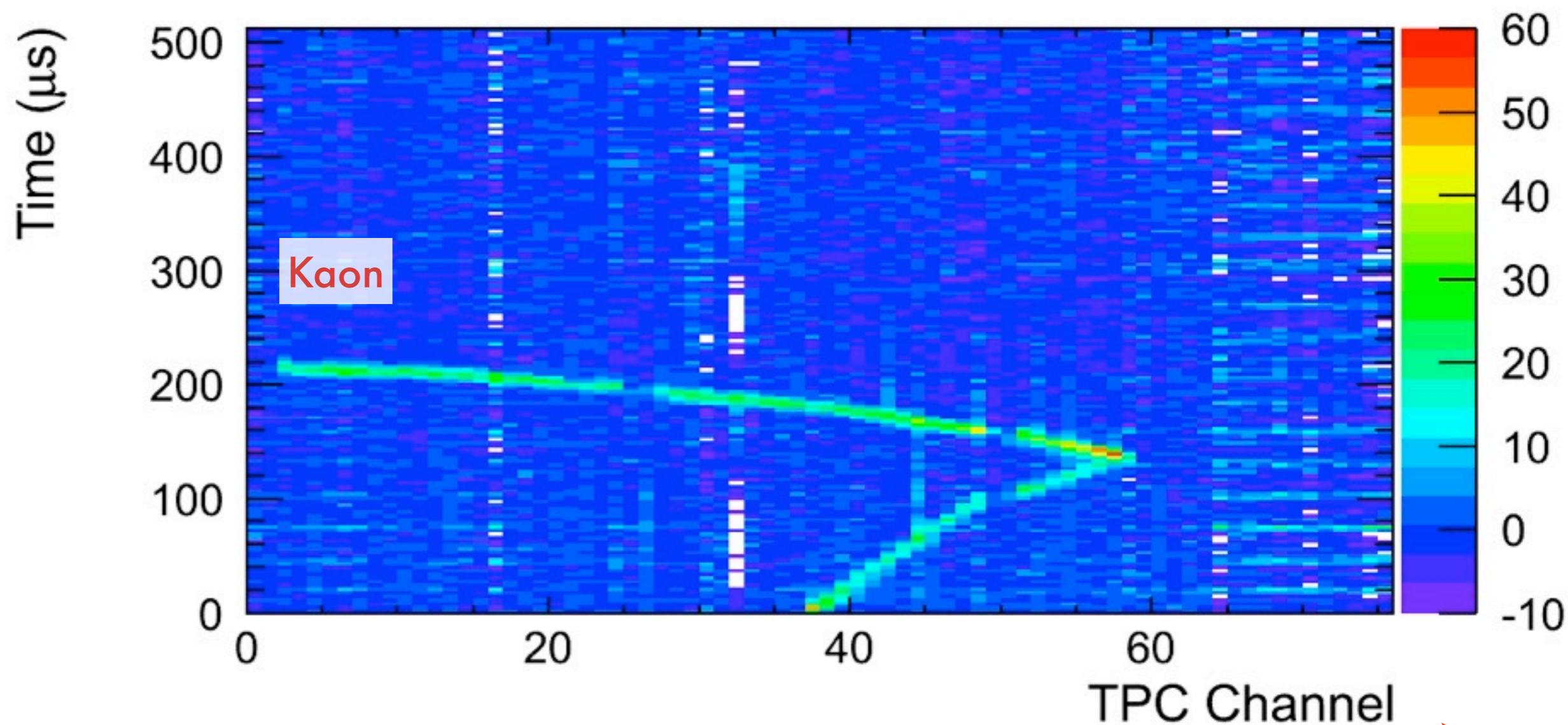


ビーム入射方向

# イベント例(実データ)

電子のドリフト方向

信号の強さ

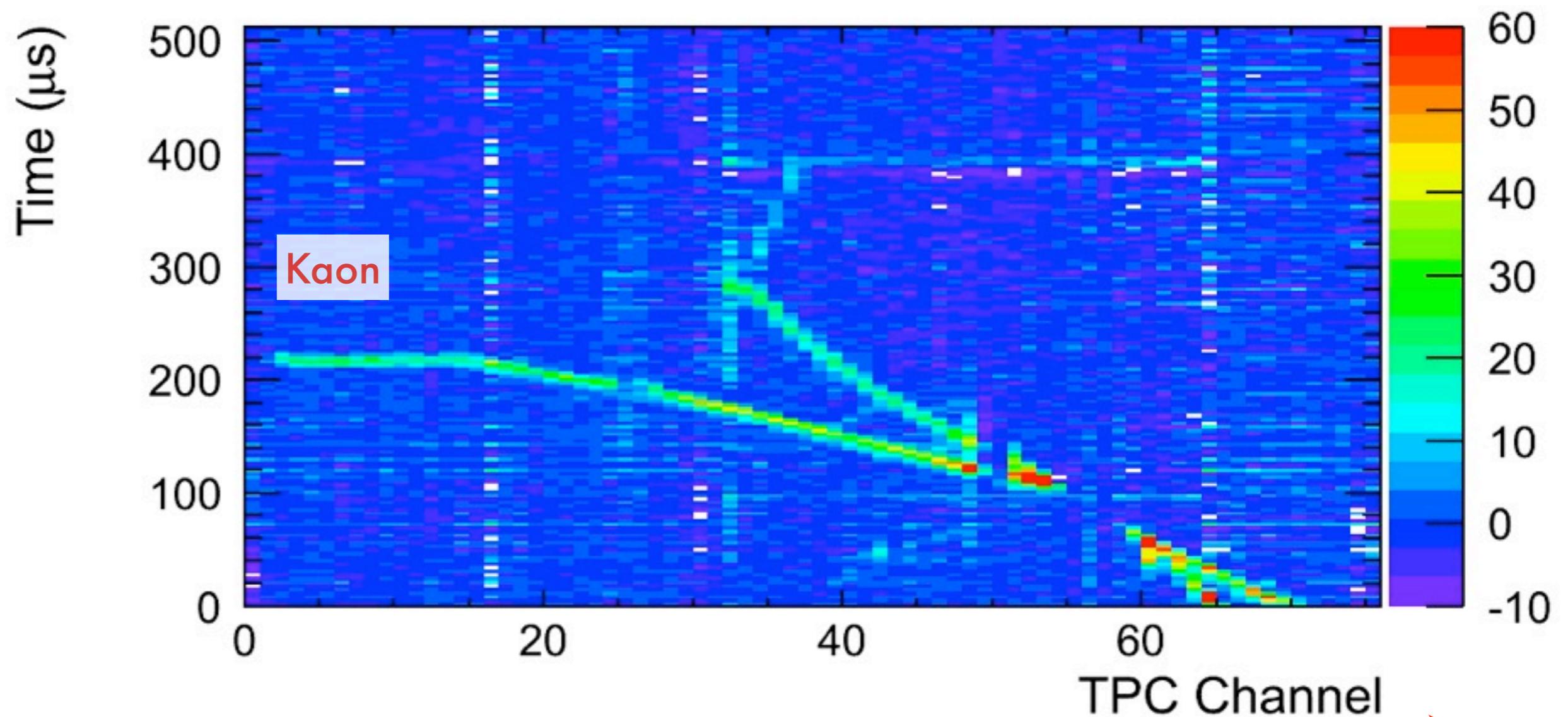


ビーム入射方向

# イベント例(実データ)

電子のドリフト方向

信号の強さ

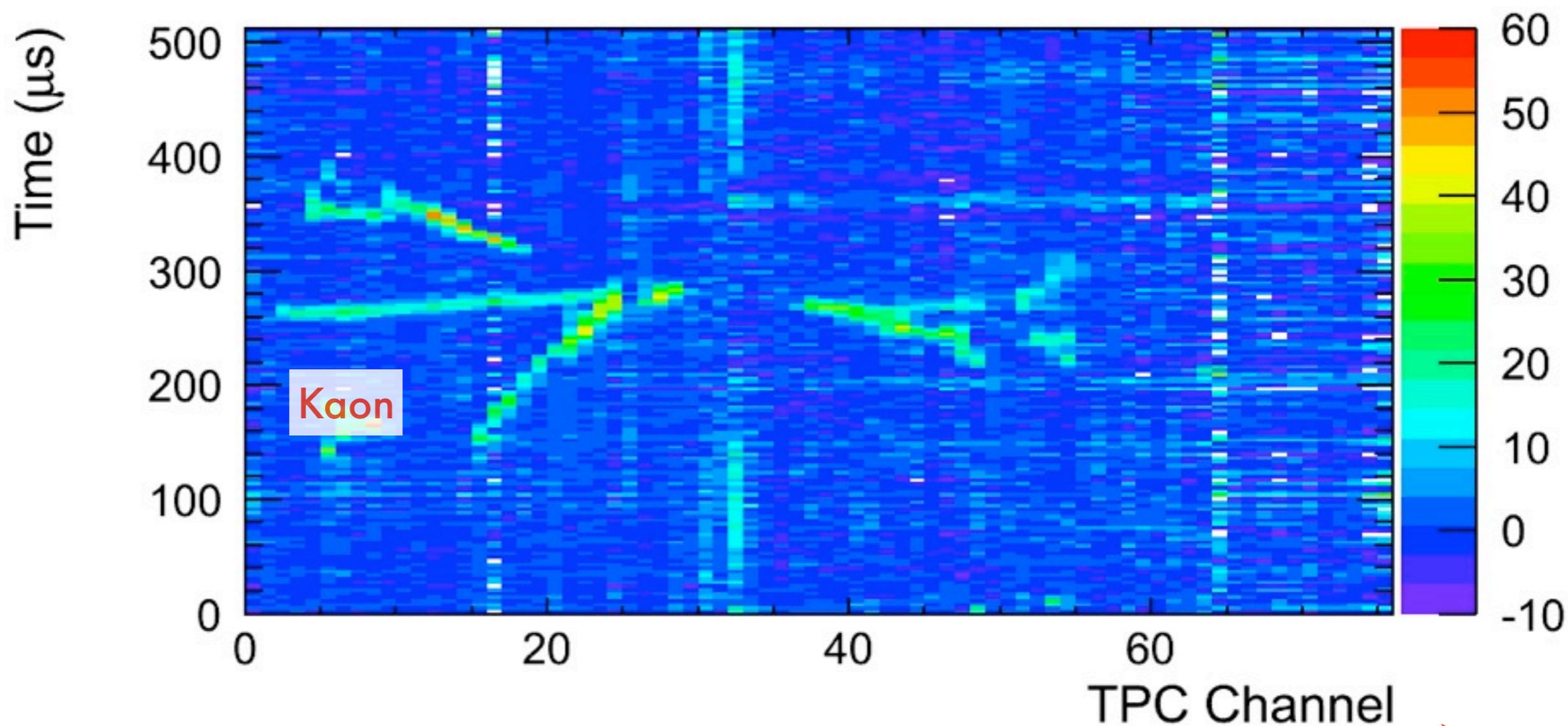


ビーム入射方向

# イベント例(実データ)

電子のドリフト方向

信号の強さ



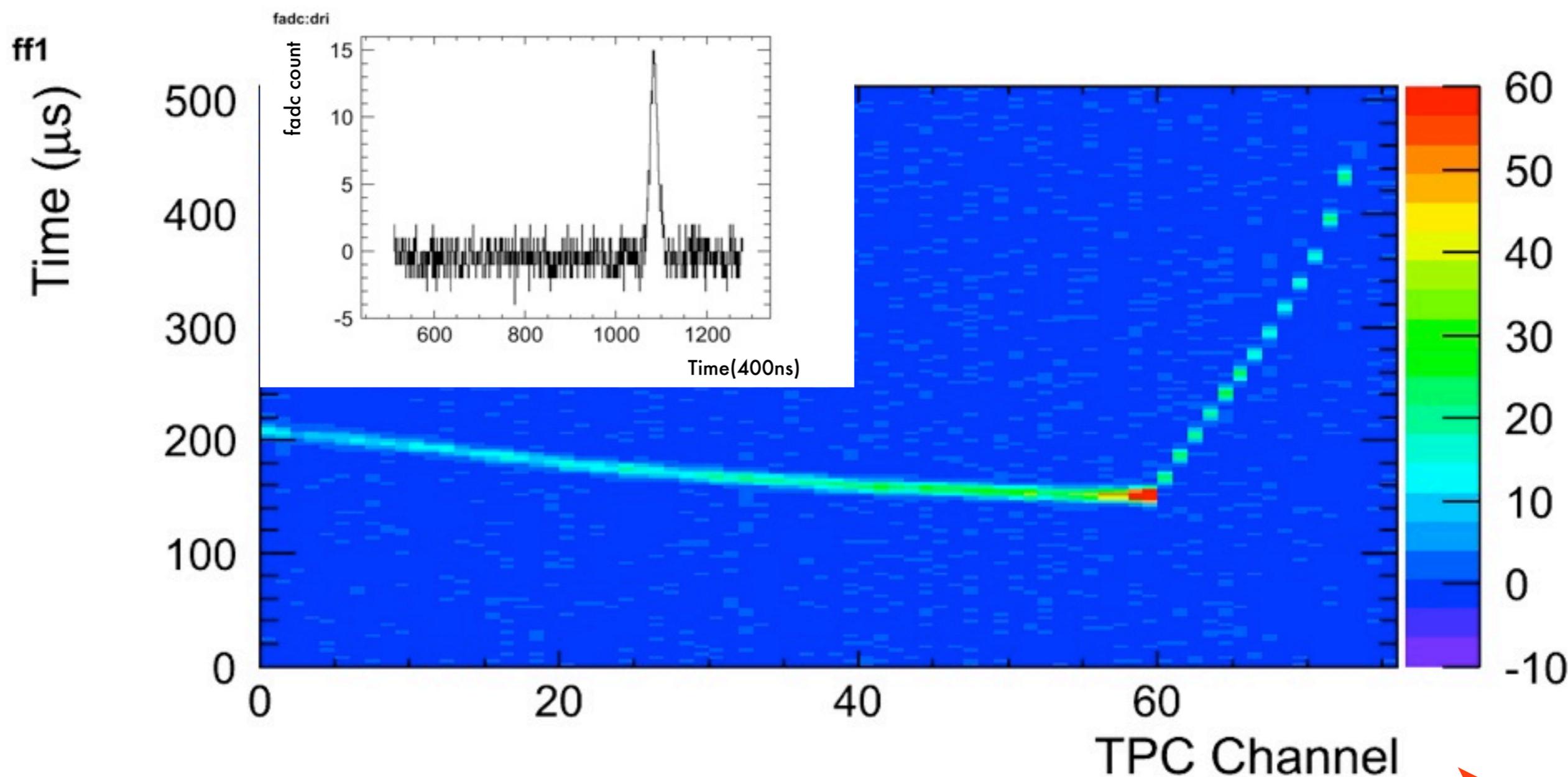
ビーム入射方向

# Geant4を用いた、解析手法 のMC study

# イベント例(Geant4 Simulation)

電子のドリフト方向

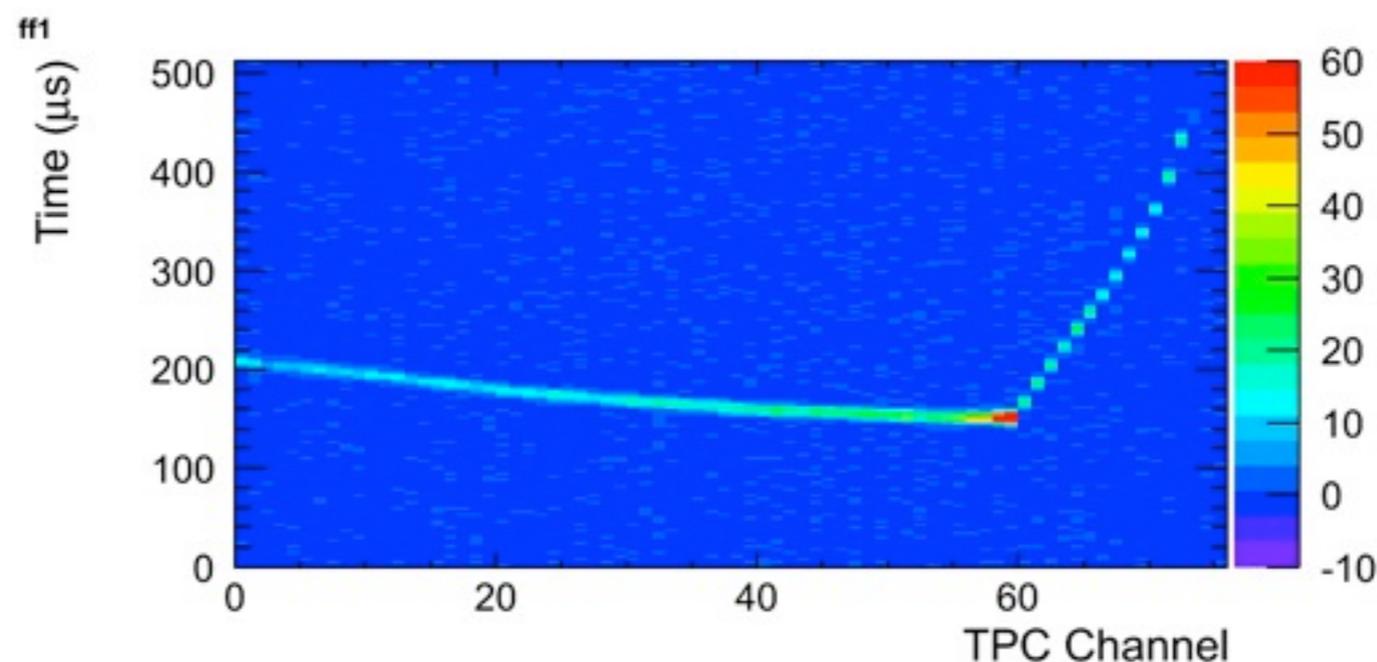
信号の強さ



ビーム入射方向

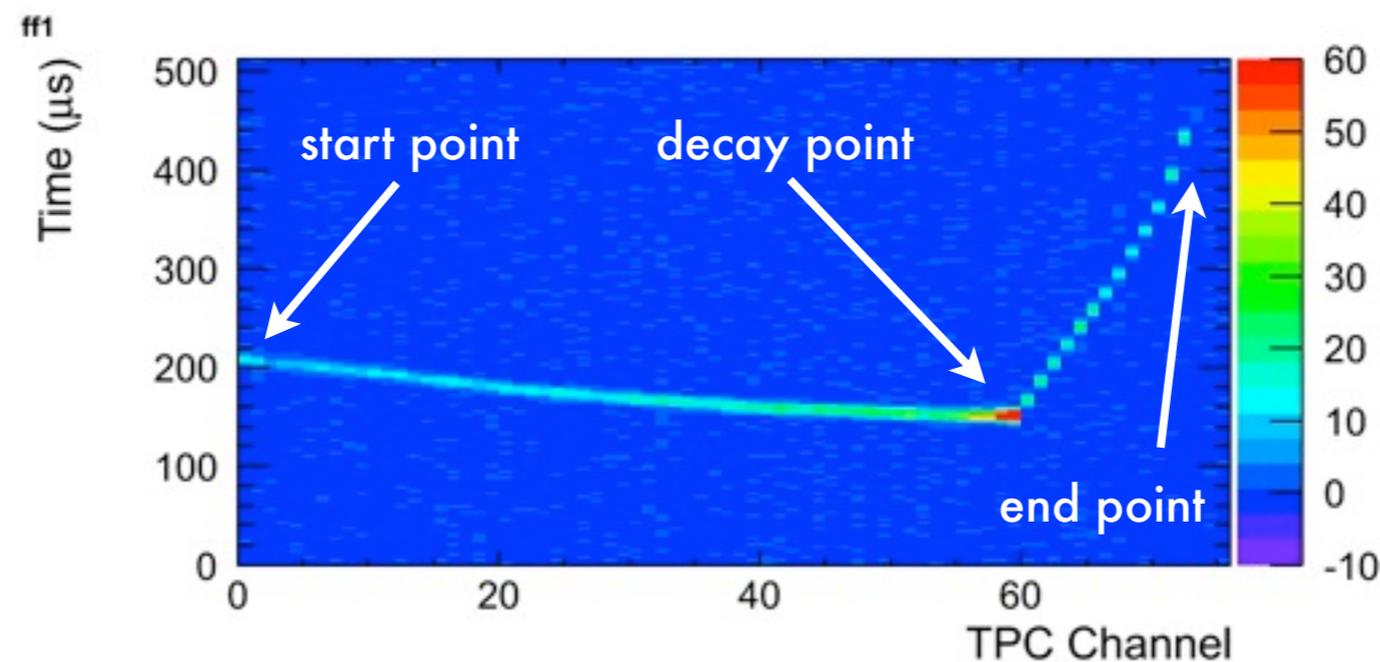
# Track Finding Algorithm

- ❖ 各チャンネルThreshold cutを行う
- ❖ Thresholdを超えたものがあつたら次のチャンネルも探す
- ❖ 3チャンネル続けて信号がない場合、解析終了

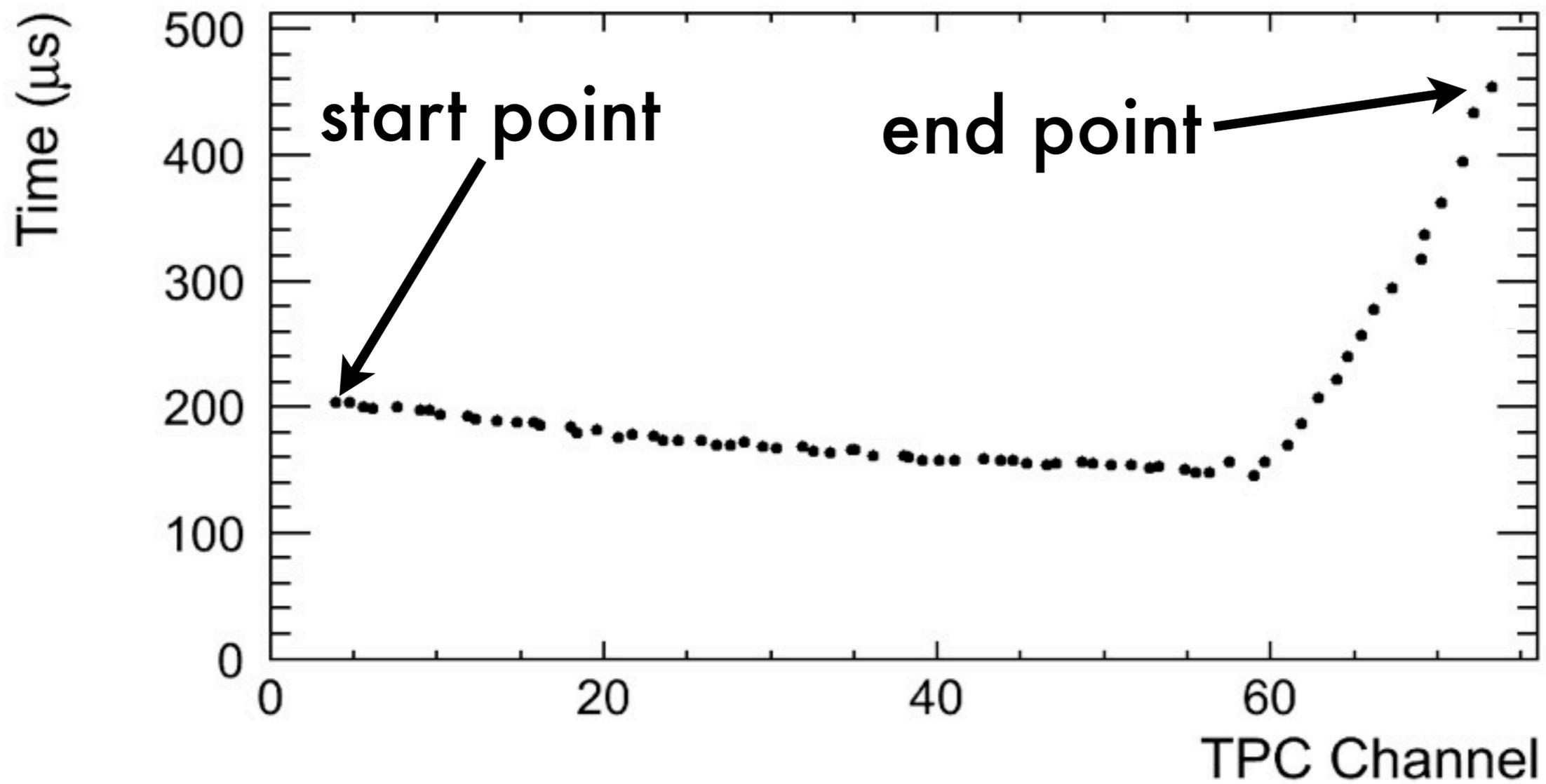


# Track Finding Algorithm

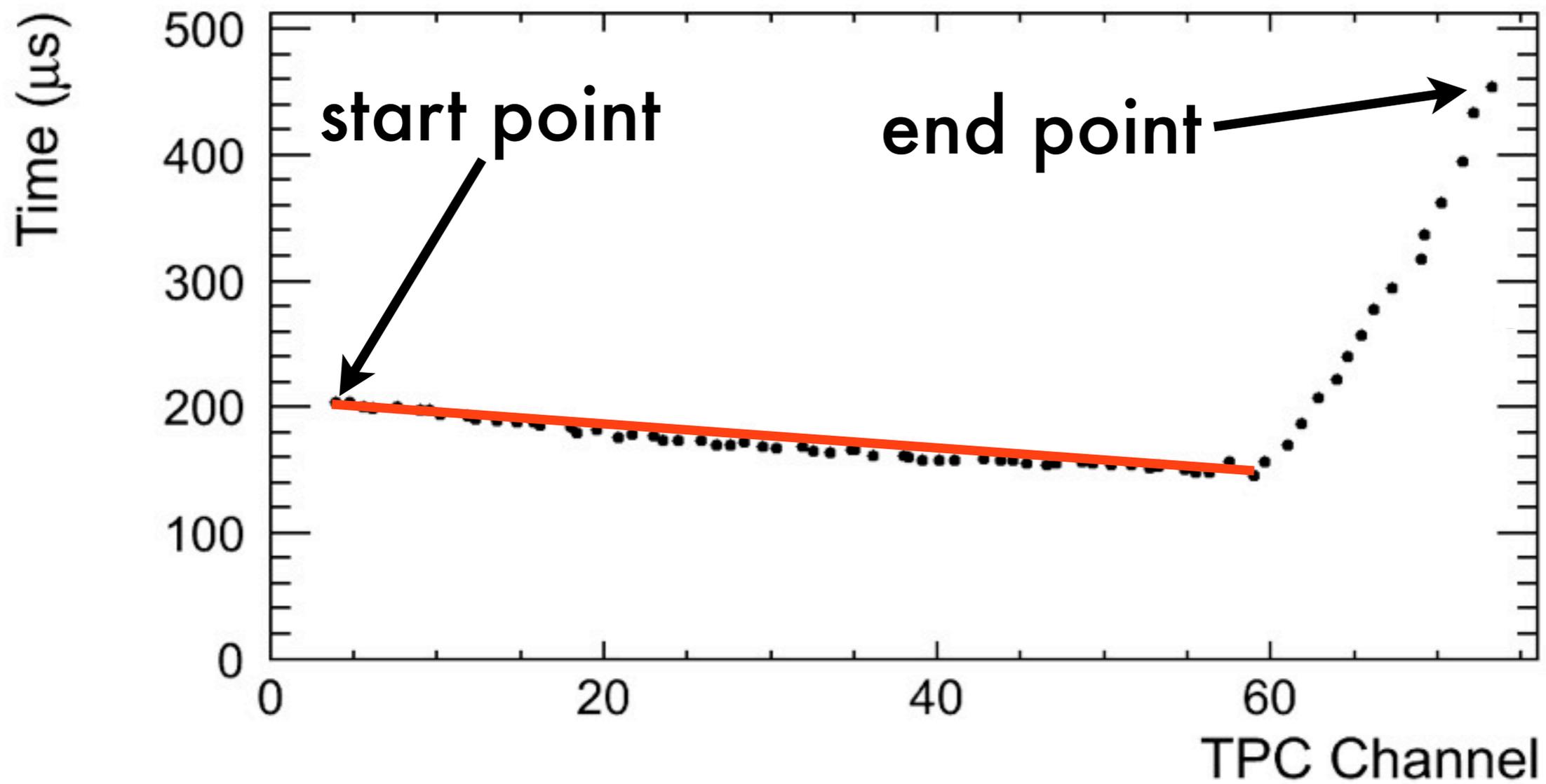
- ❖ 各チャンネルThreshold cutを行う
- ❖ Thresholdを超えたものがあつたら次のチャンネルも探す
- ❖ 3チャンネル続けて信号がない場合、解析終了



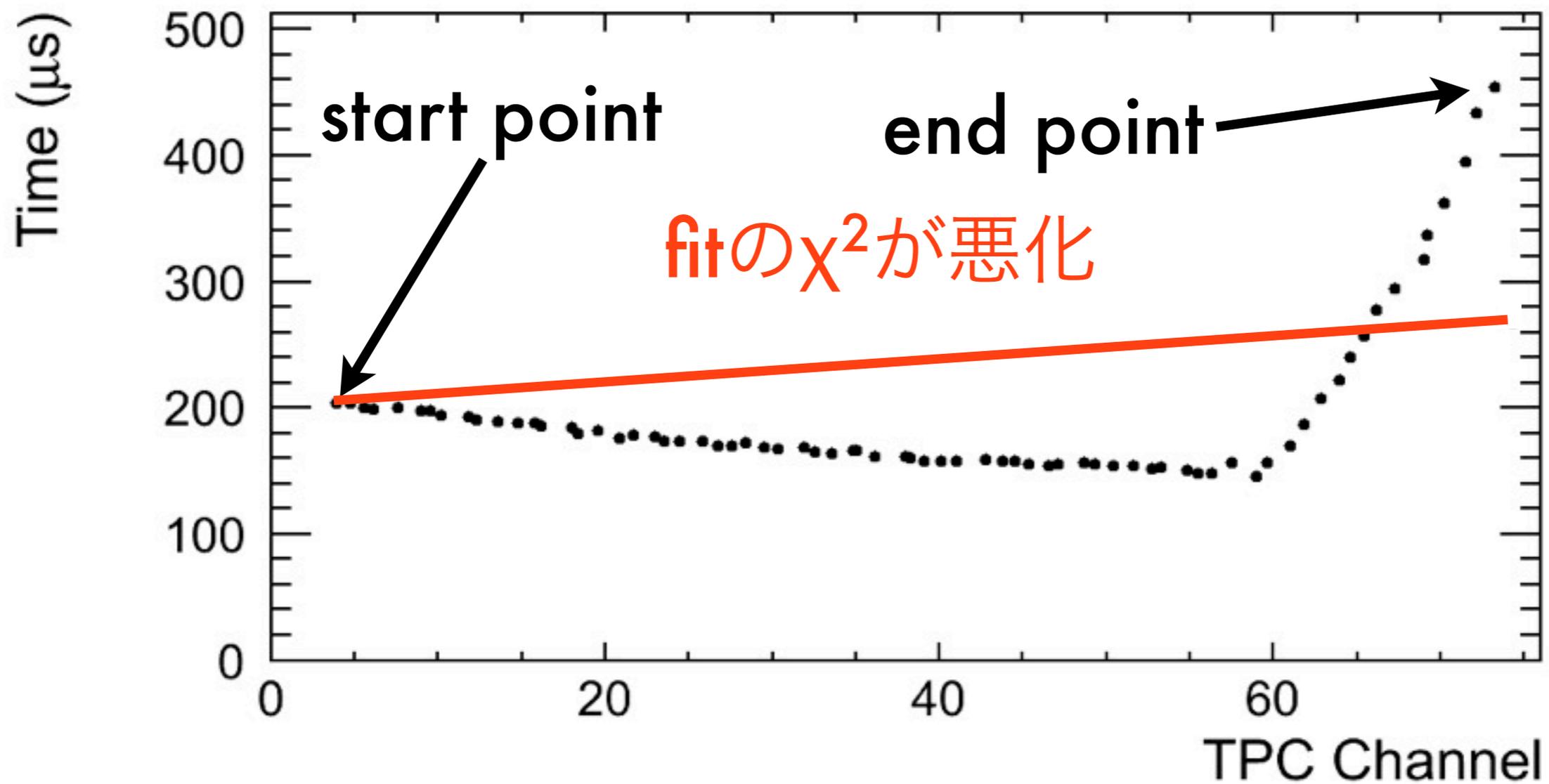
# 崩壊点の決定



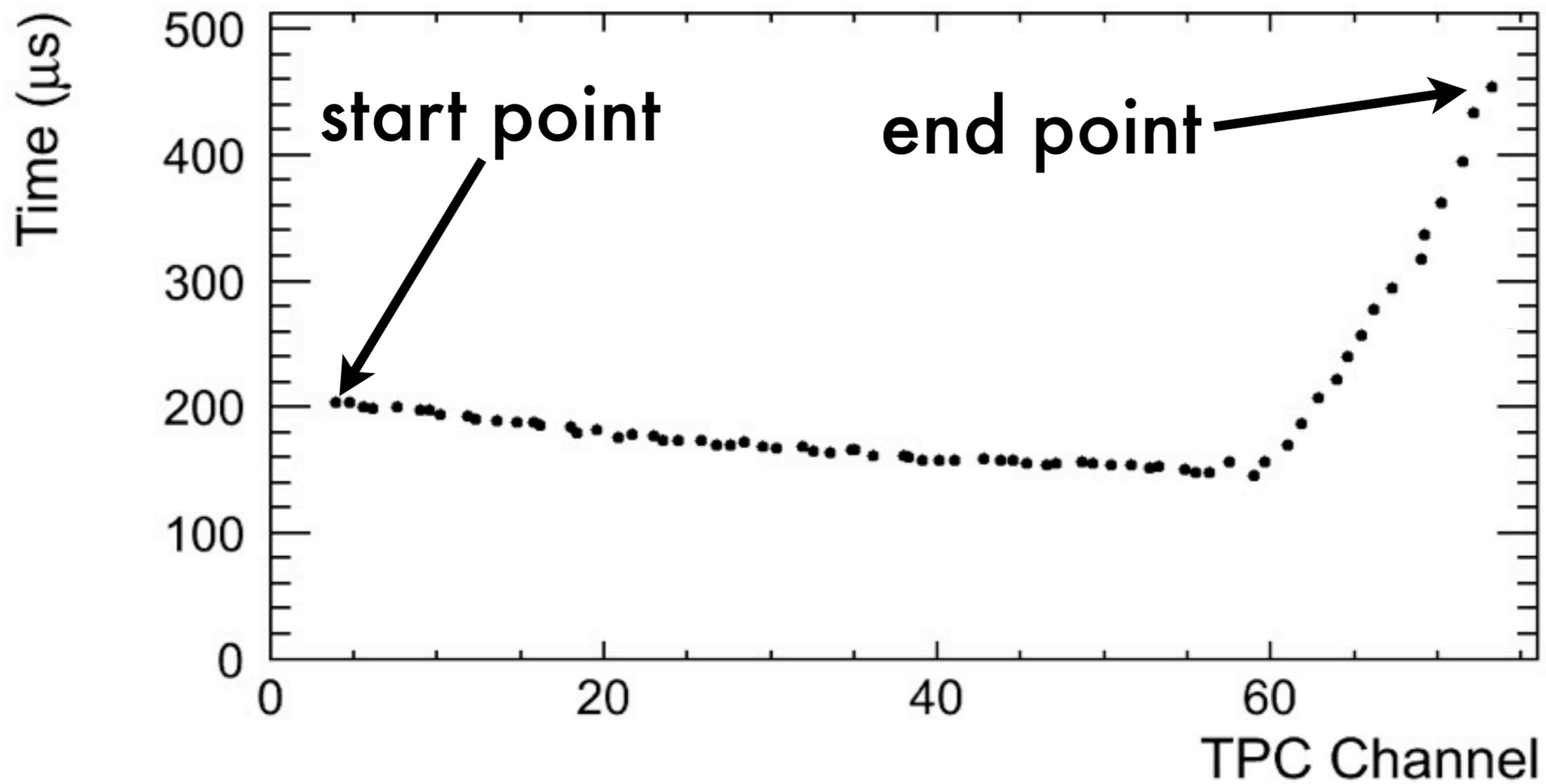
# 崩壊点の決定



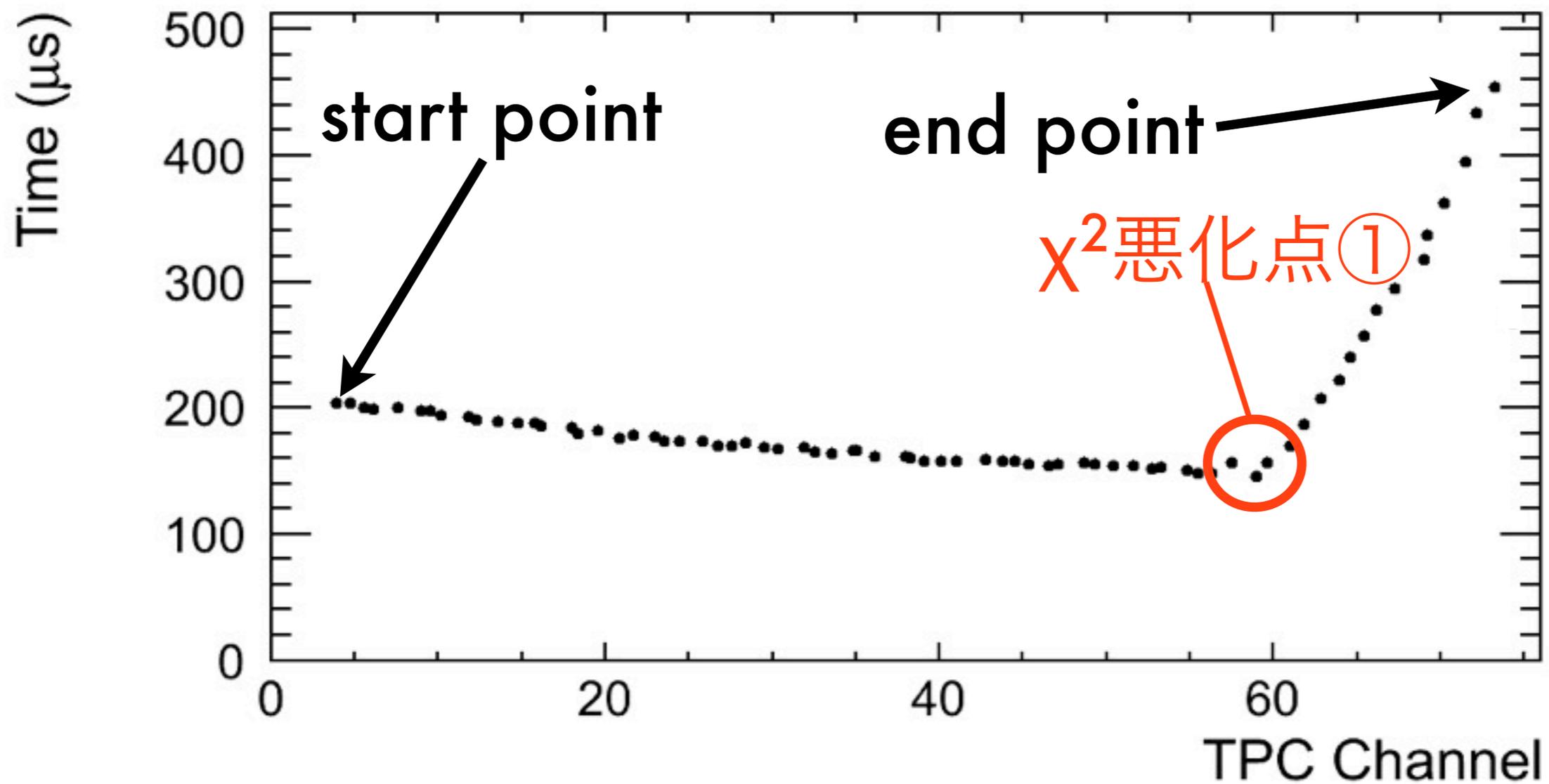
# 崩壊点の決定



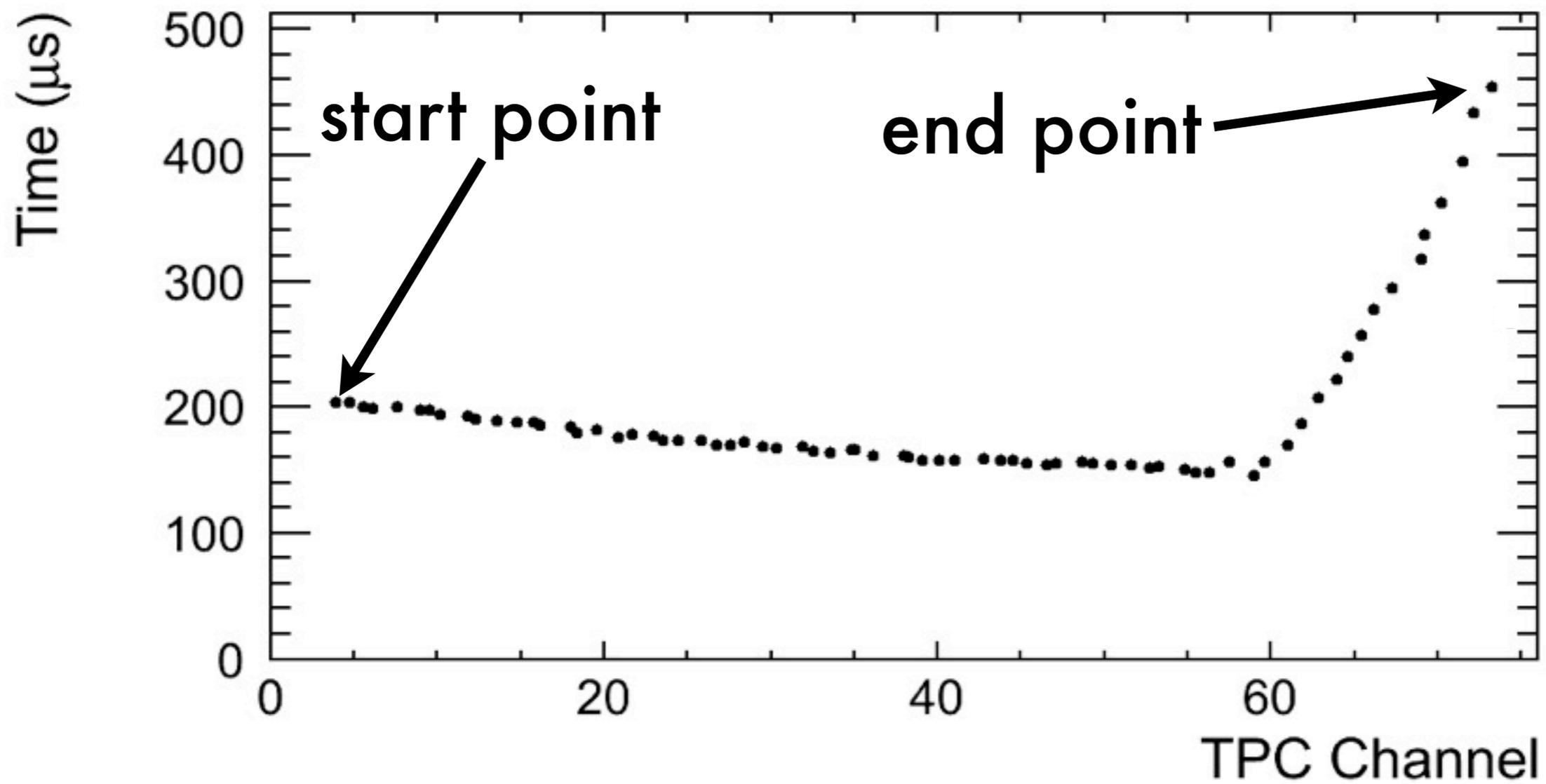
# 崩壊点の決定



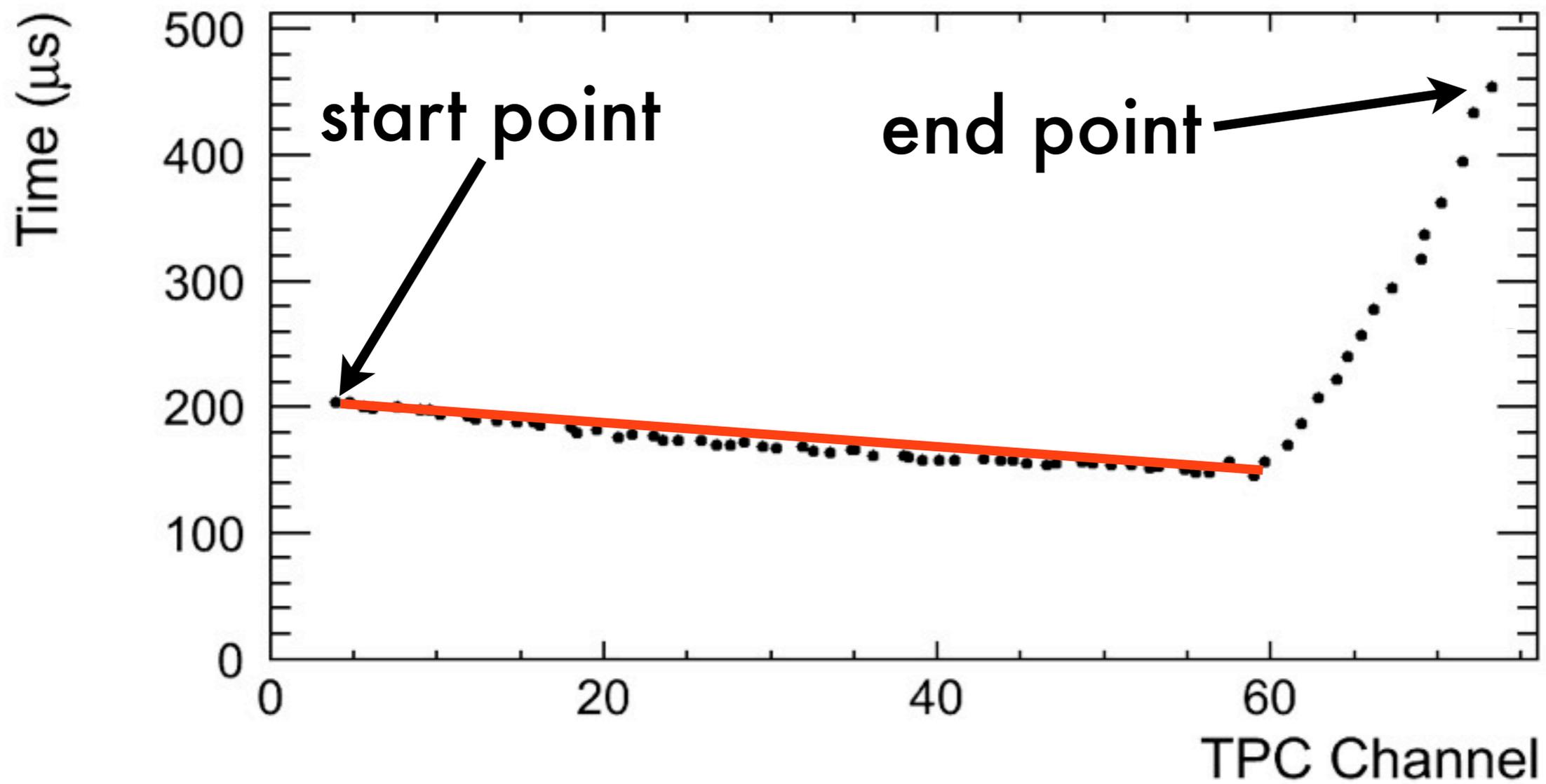
# 崩壊点の決定



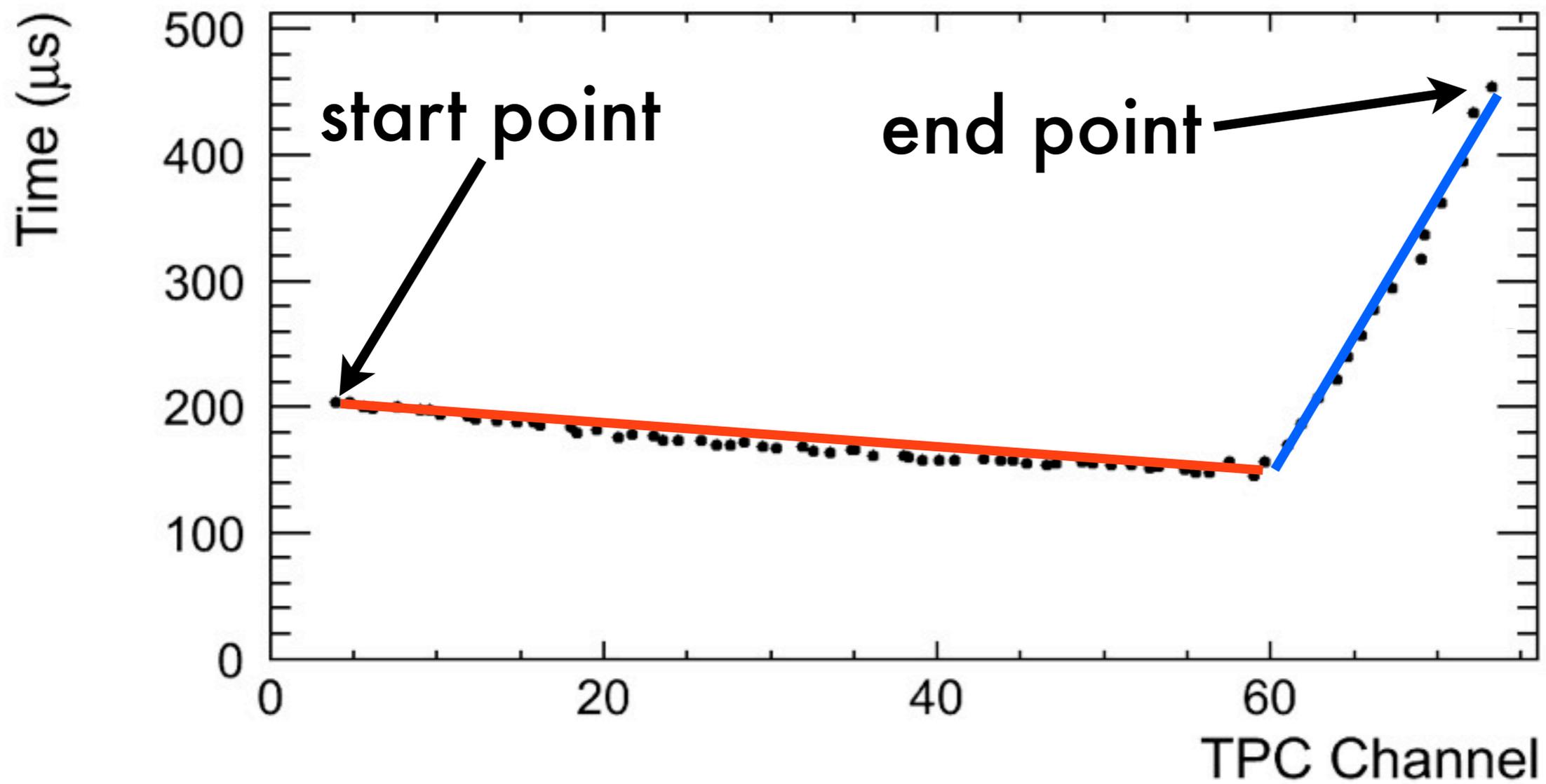
# 崩壊点の決定



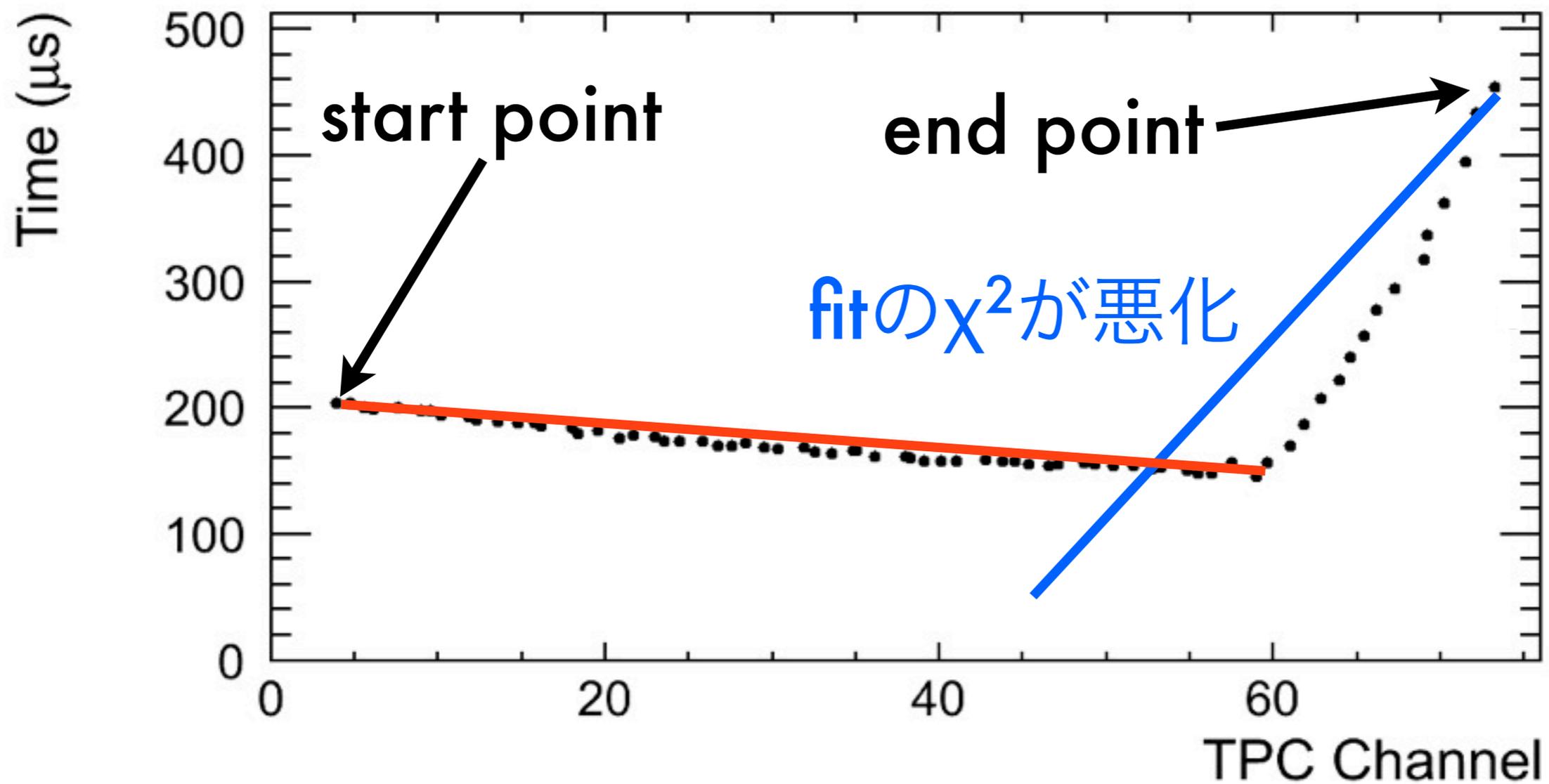
# 崩壊点の決定



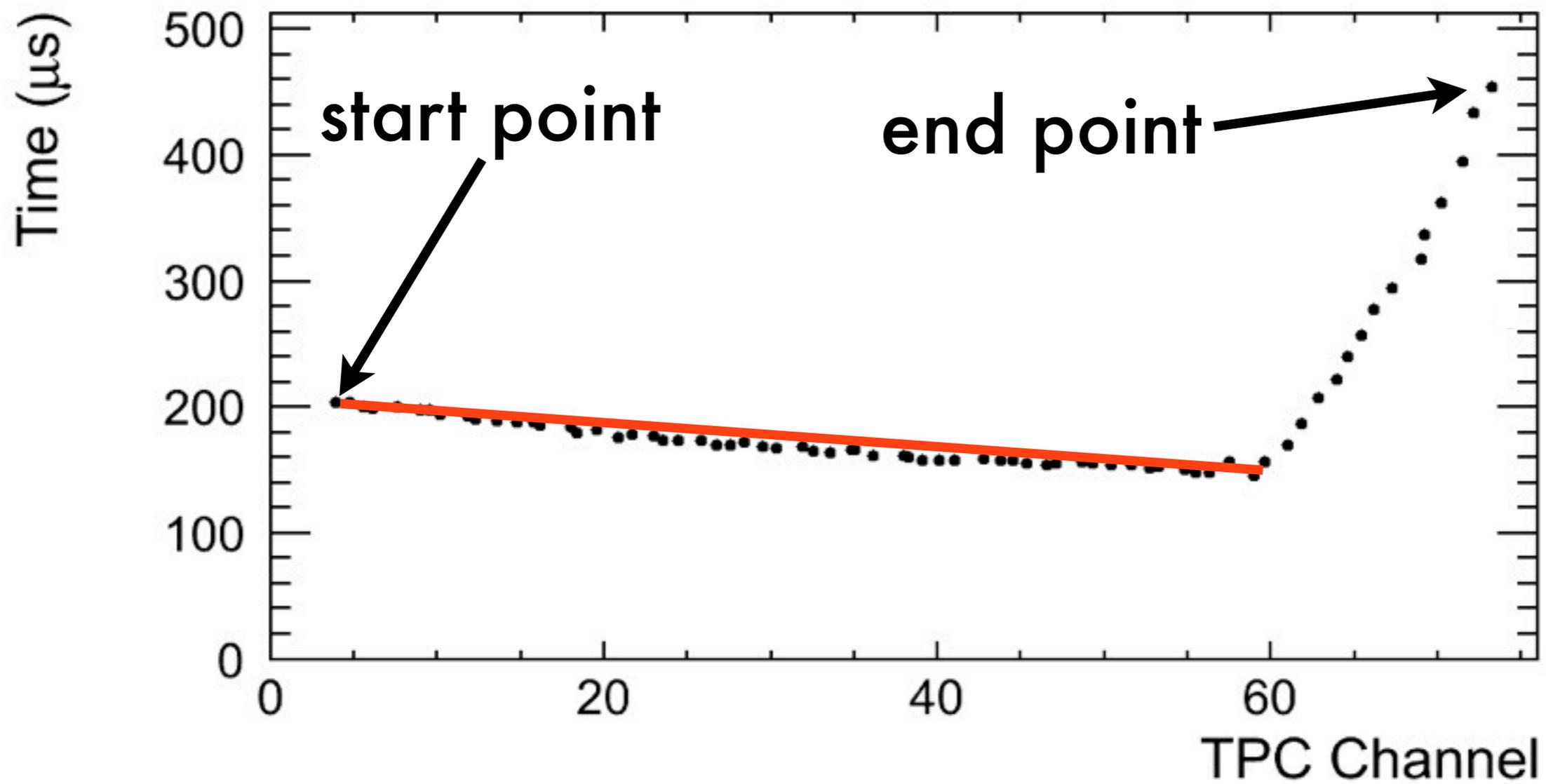
# 崩壊点の決定



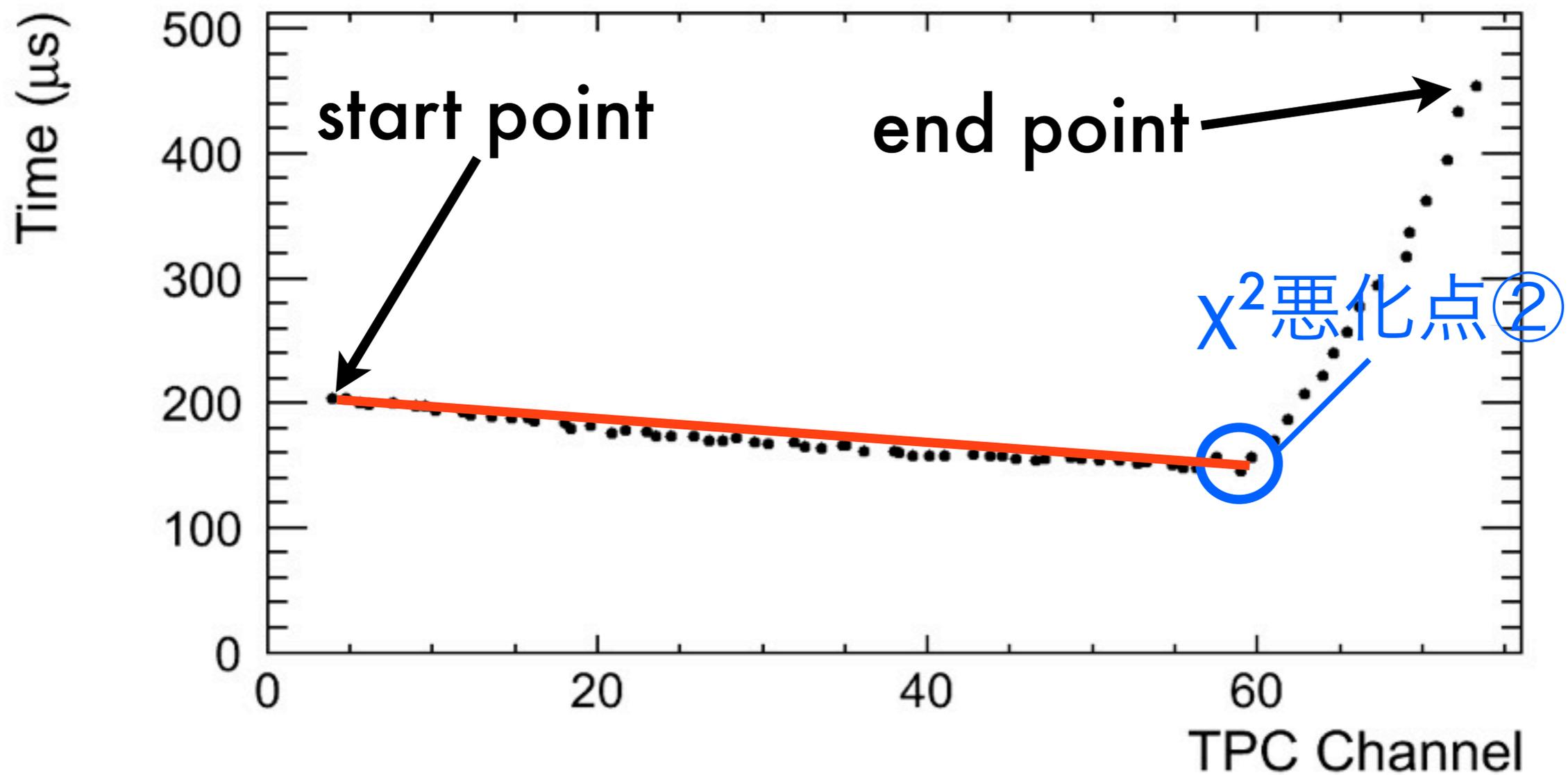
# 崩壊点の決定



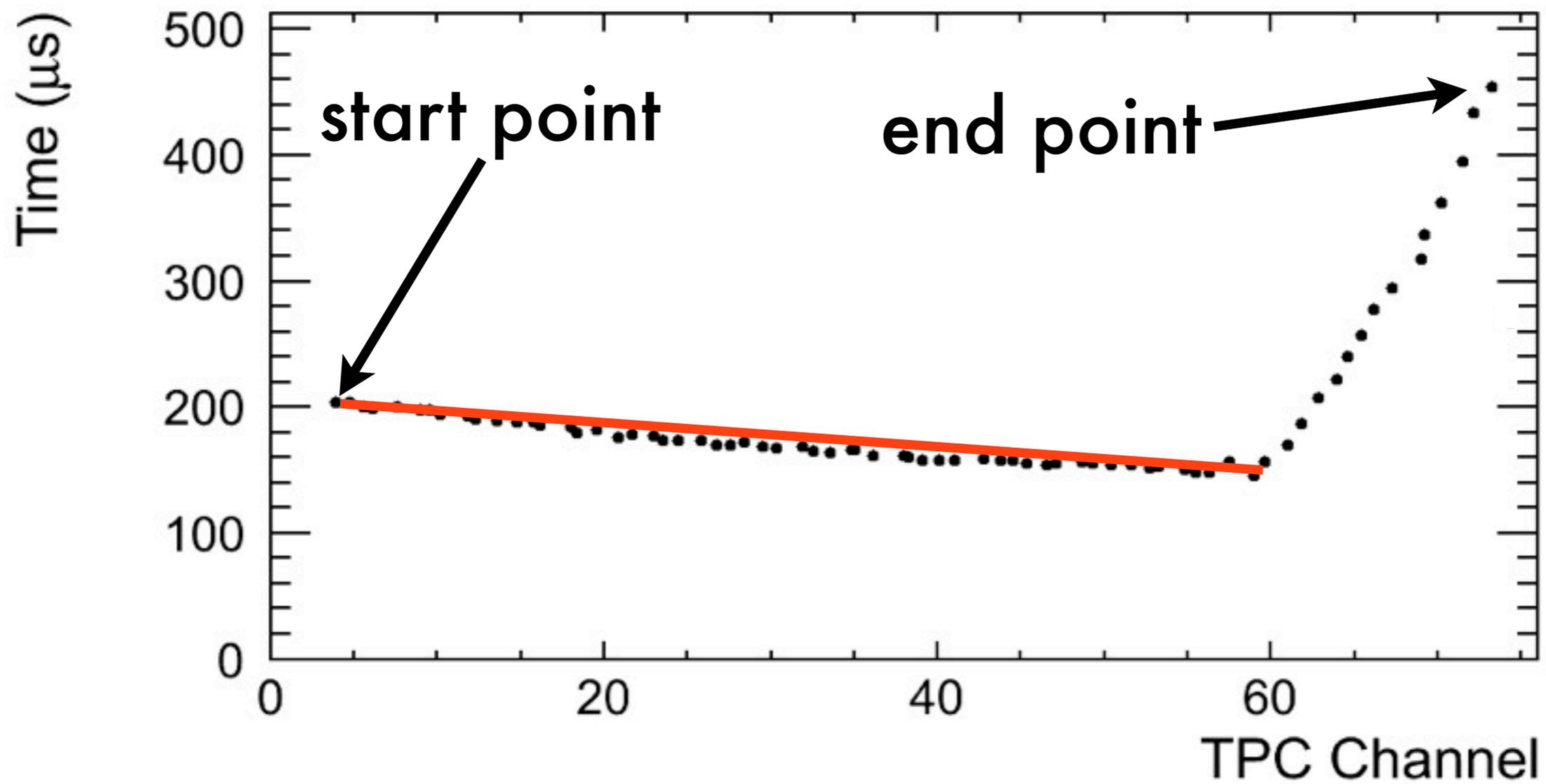
# 崩壊点の決定



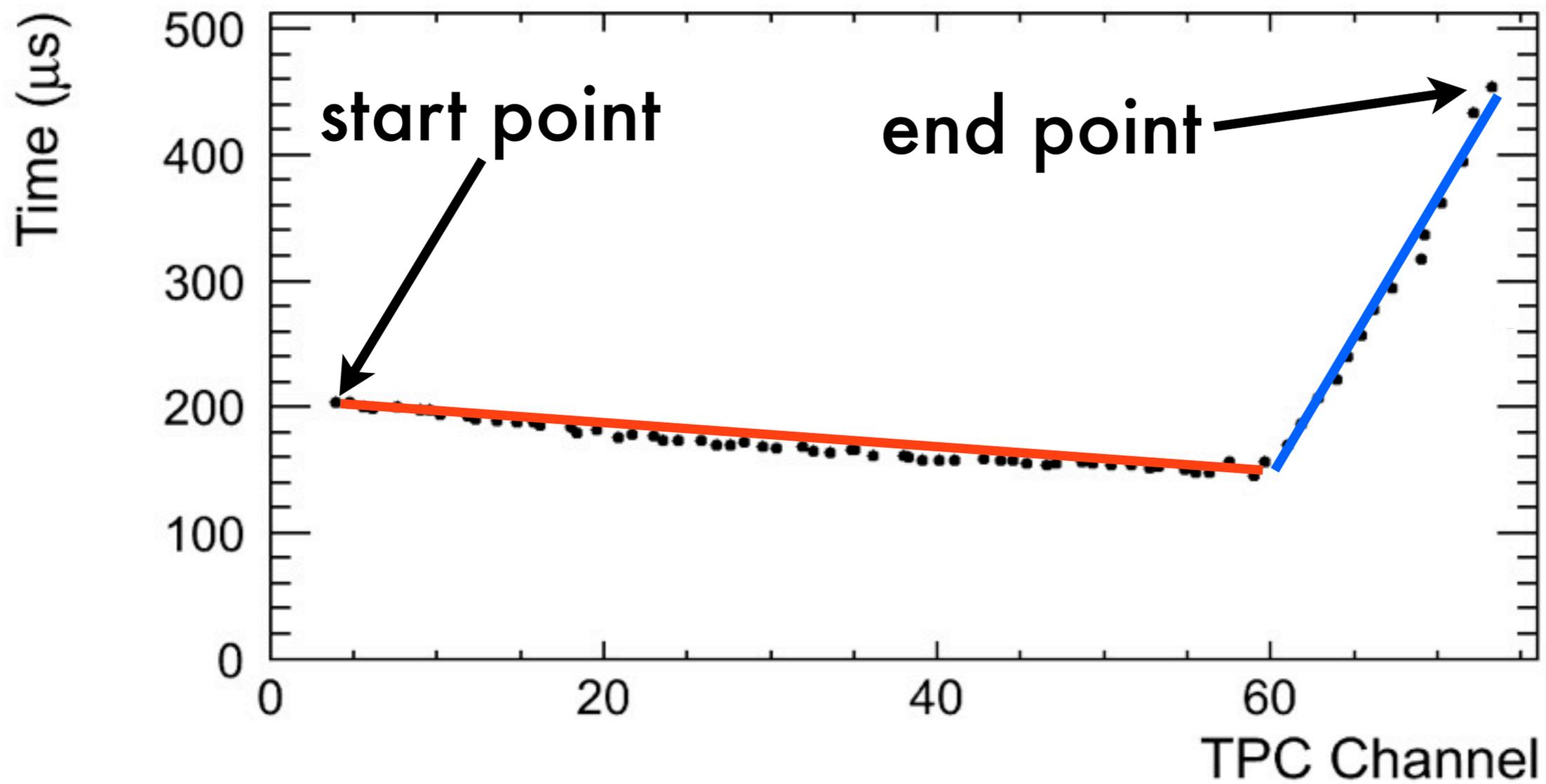
# 崩壊点の決定



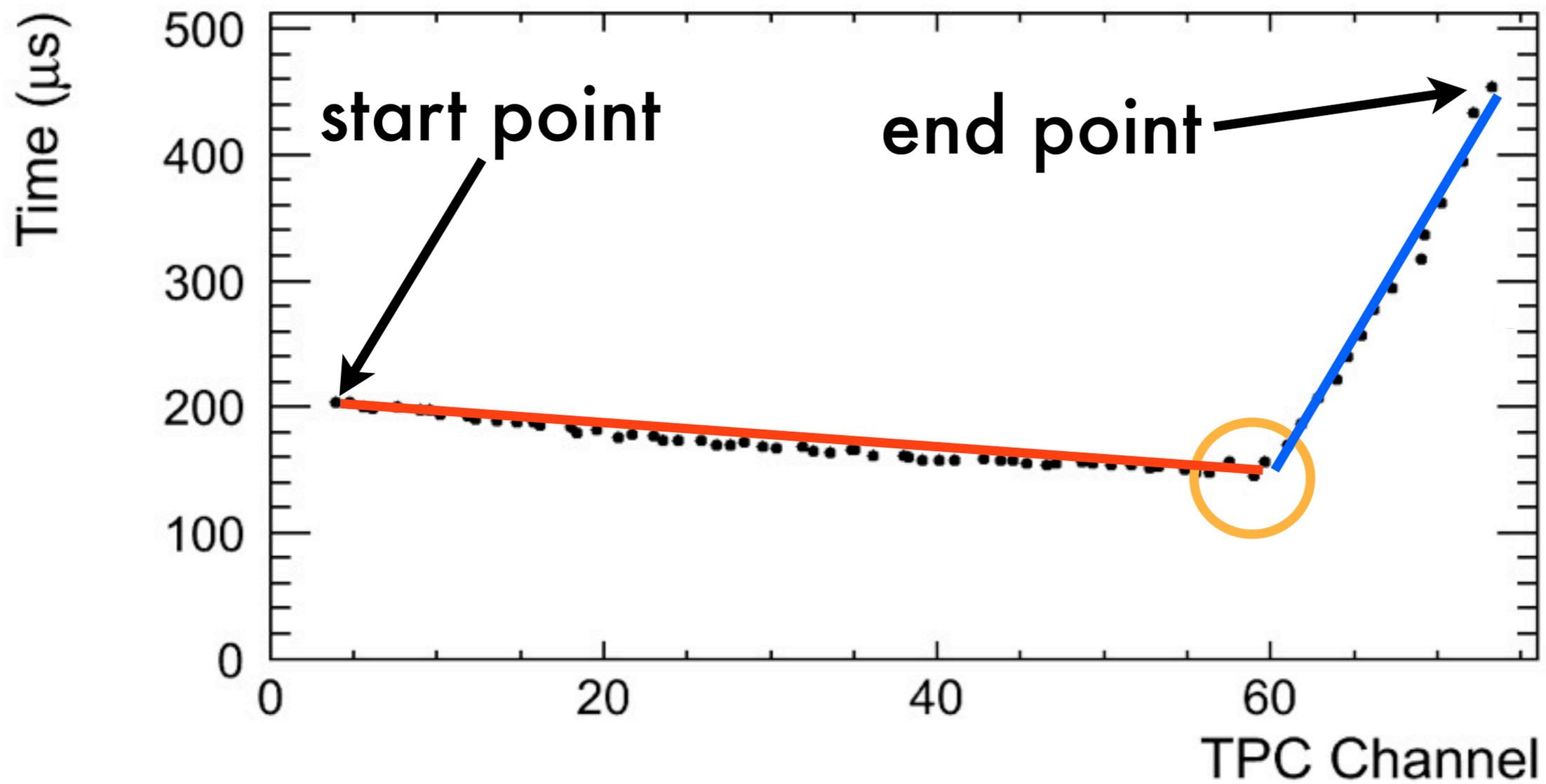
# 崩壊点の決定



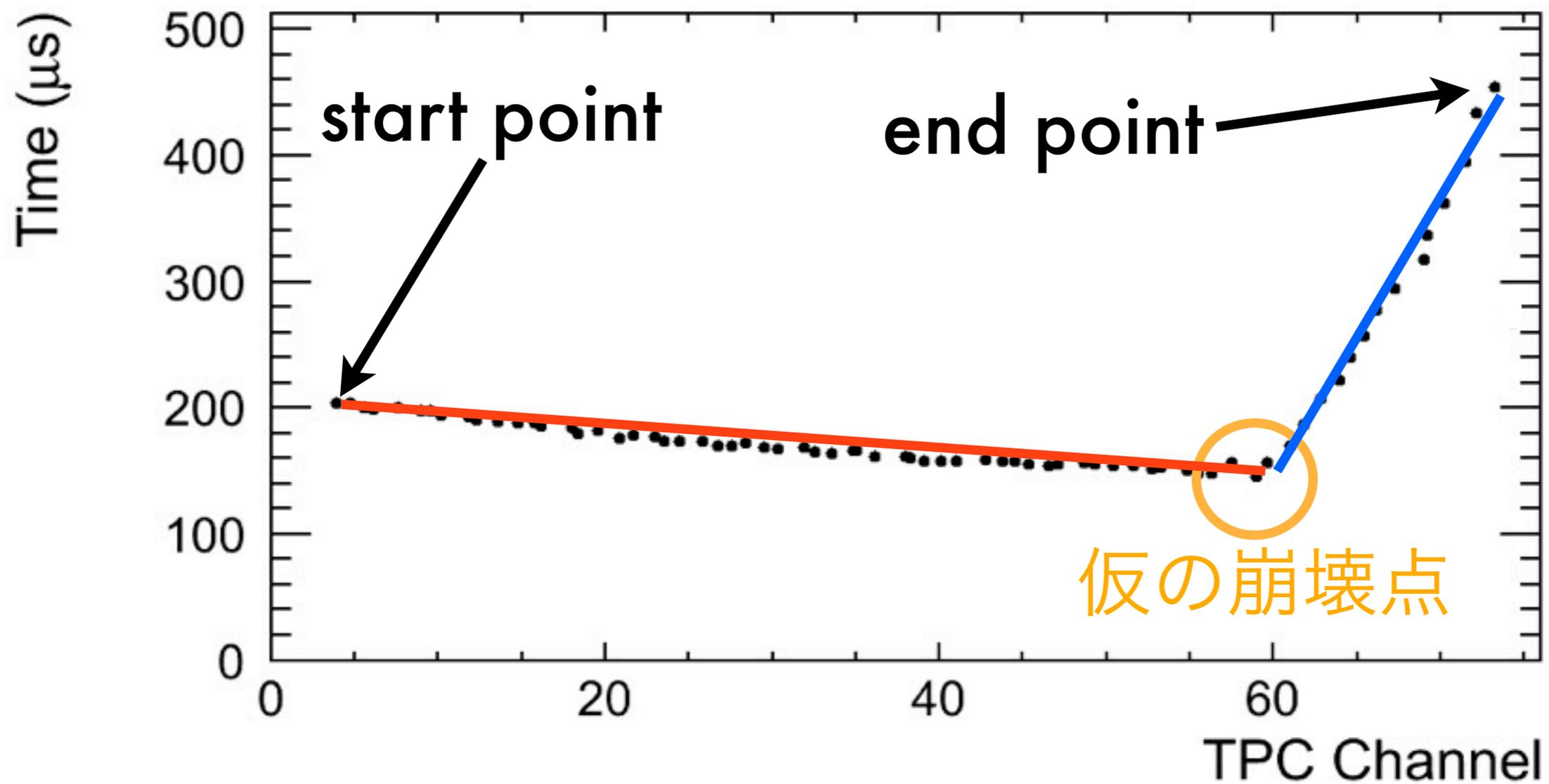
# 崩壊点の決定



# 崩壊点の決定

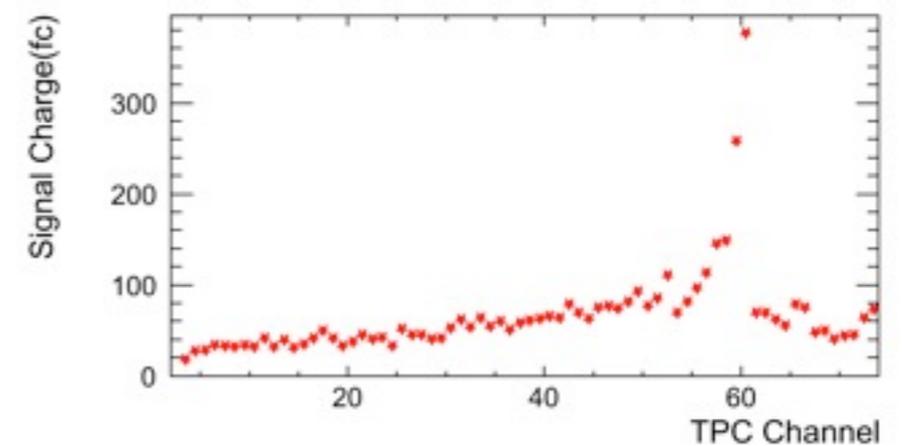
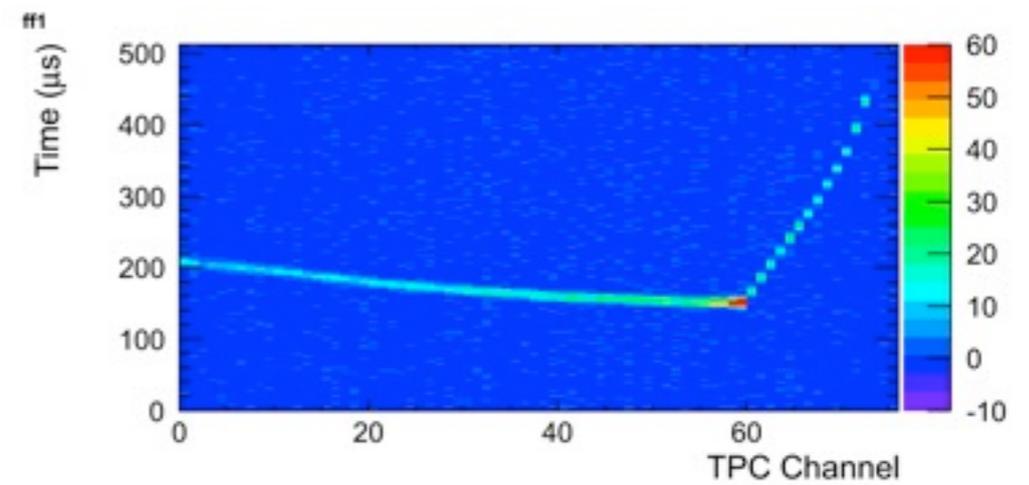


# 崩壊点の決定



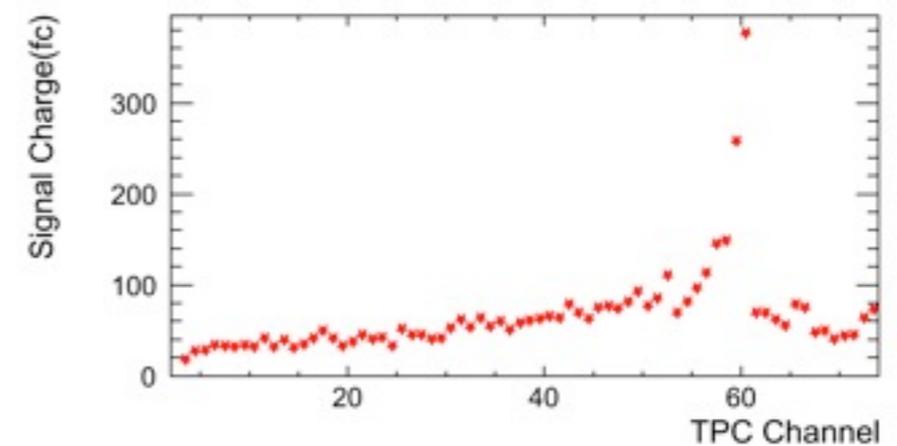
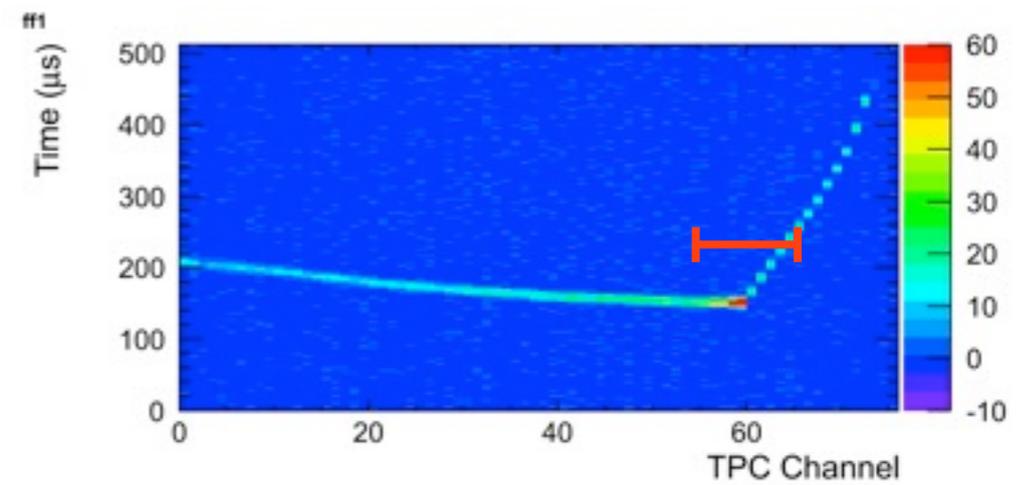
# 崩壊点の決定

仮の崩壊点から $\pm 3$ チャンネル  
でcharge depositが一番大きい



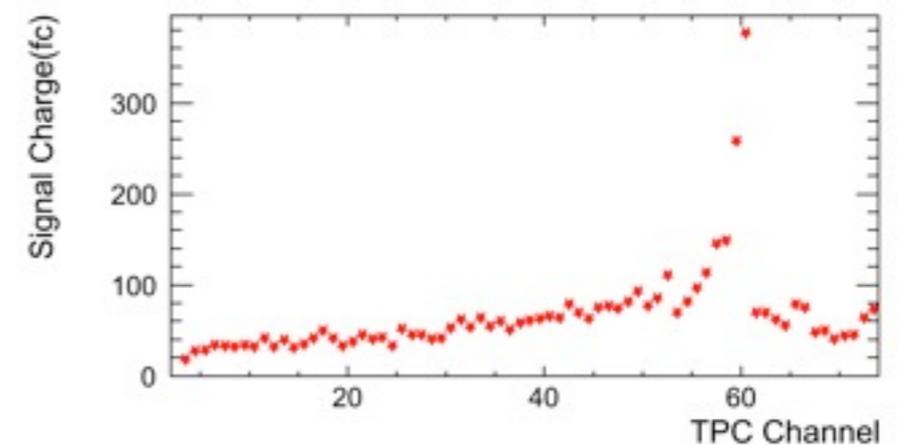
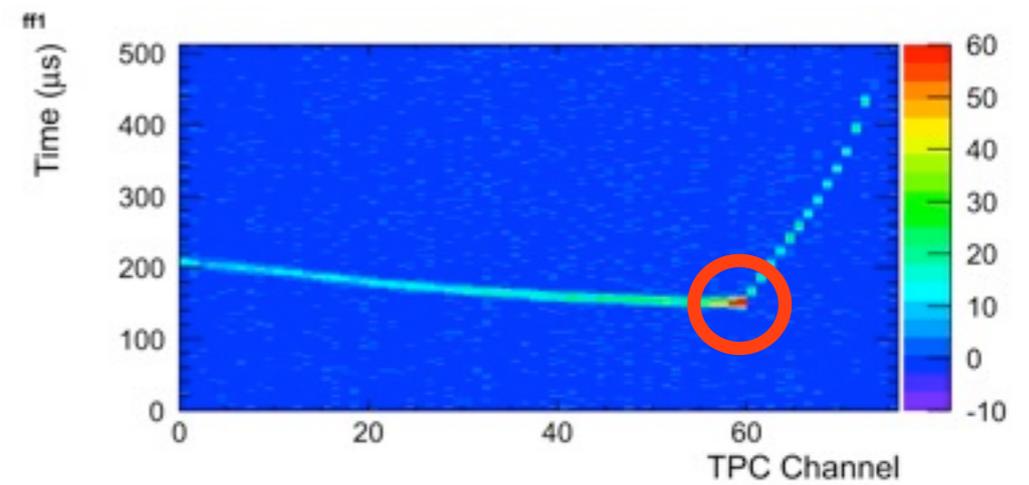
# 崩壊点の決定

仮の崩壊点から $\pm 3$ チャンネル  
でcharge depositが一番大きい



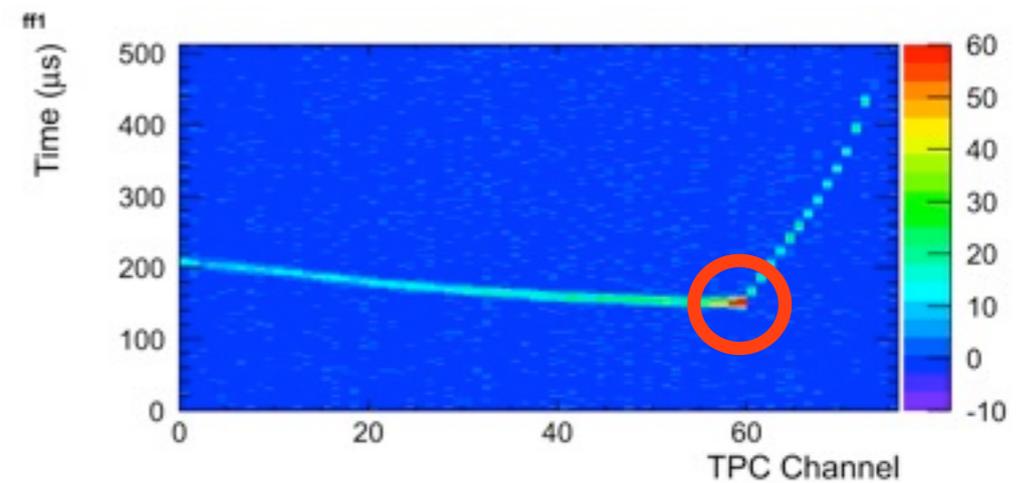
# 崩壊点の決定

仮の崩壊点から $\pm 3$ チャンネル  
でcharge depositが一番大きい

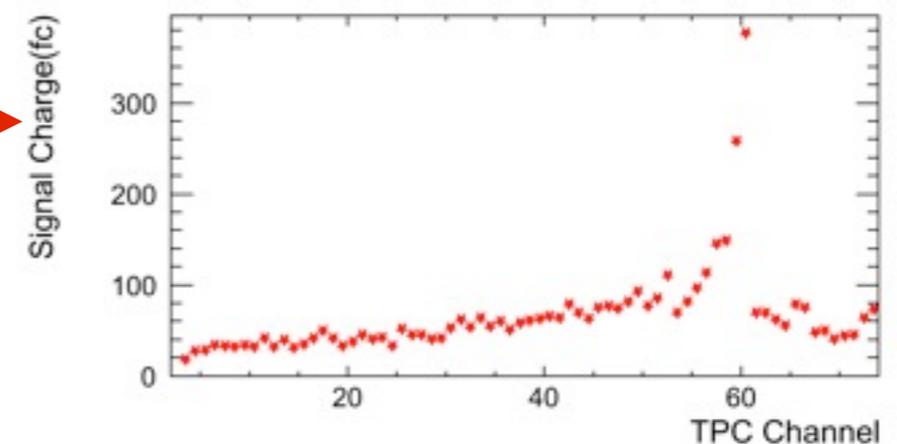


# 崩壊点の決定

仮の崩壊点から $\pm 3$ チャンネル  
でcharge depositが一番大きい

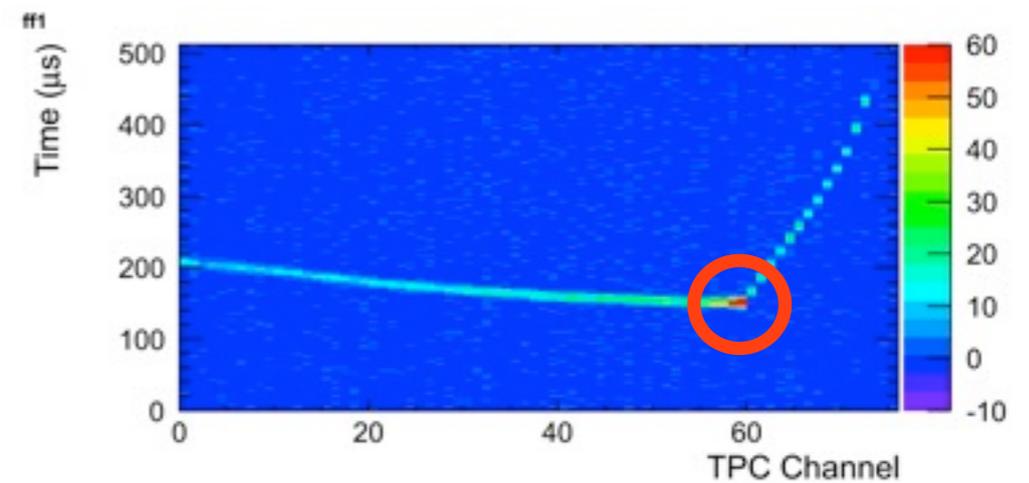


Charge depositがその  
**Event**中で一番大きい

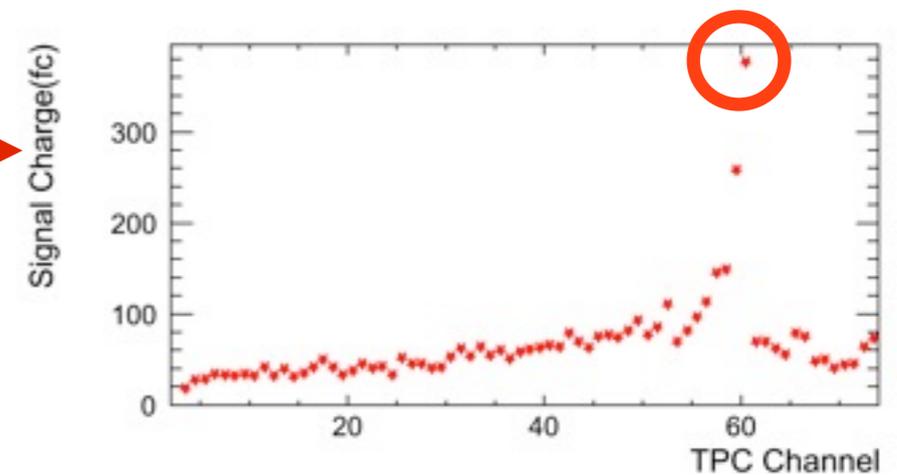


# 崩壊点の決定

仮の崩壊点から $\pm 3$ チャンネル  
でcharge depositが一番大きい

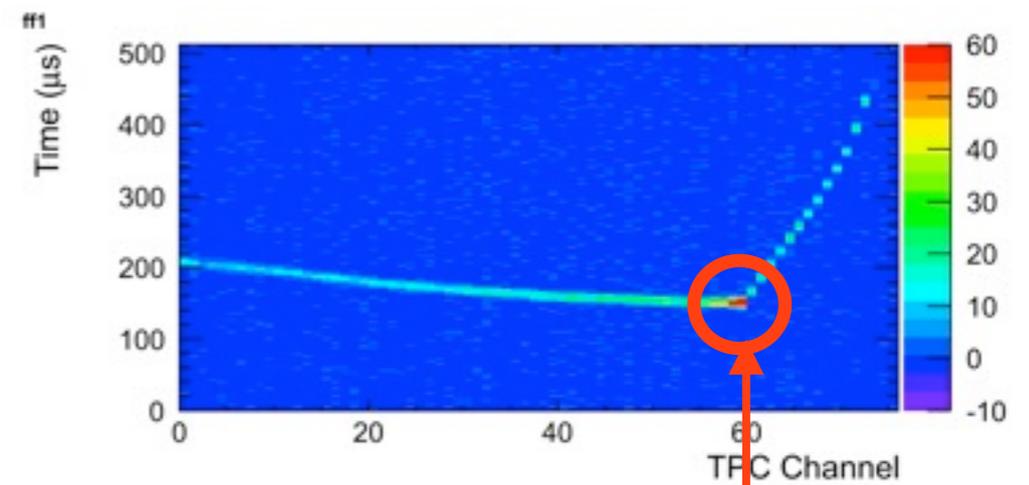


Charge depositがその  
**Event**中で一番大きい



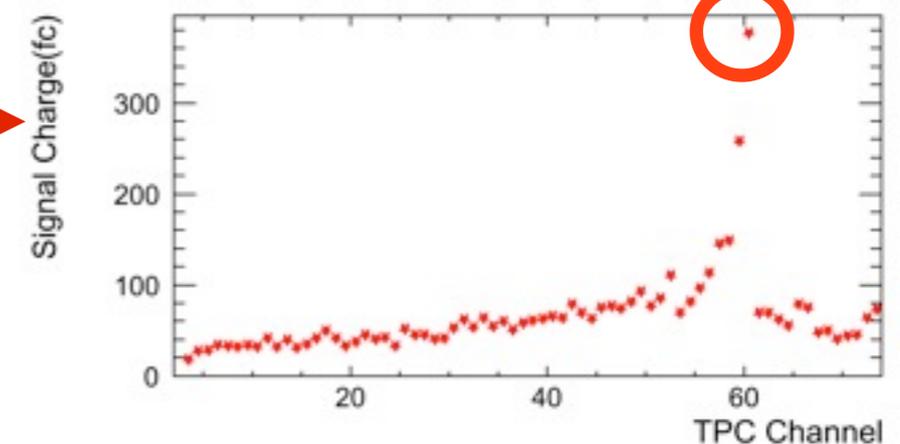
# 崩壊点の決定

仮の崩壊点から $\pm 3$ チャンネル  
でcharge depositが一番大きい



Match

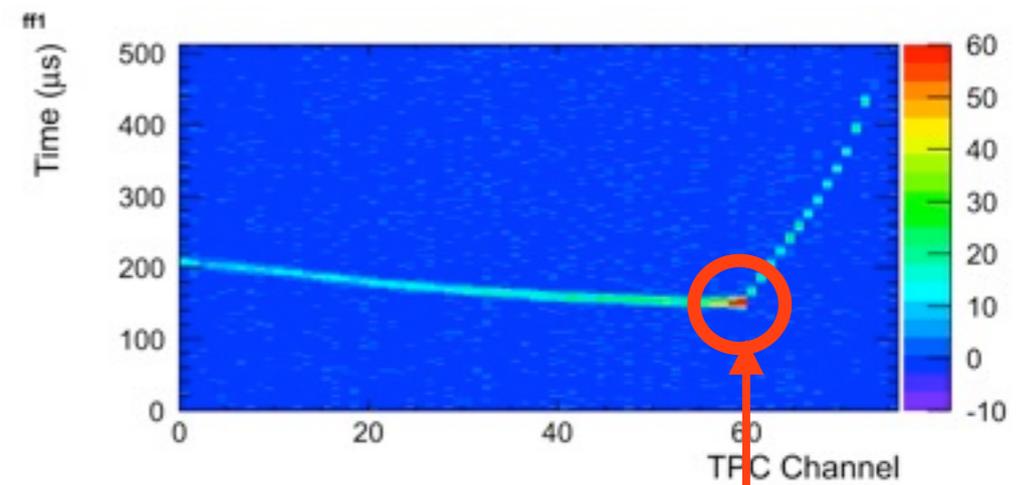
Charge depositがその  
**Event**中で一番大きい



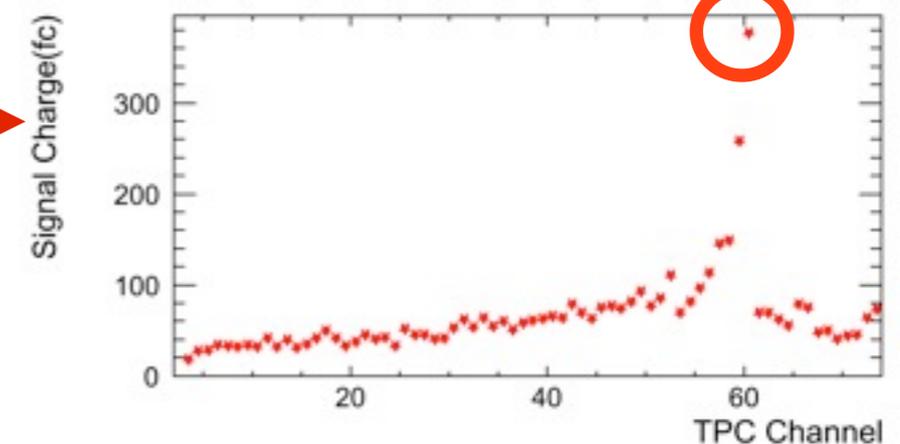
# 崩壊点の決定

仮の崩壊点から $\pm 3$ チャンネル  
でcharge depositが一番大きい

Charge depositがその  
**Event**中で一番大きい



Match



崩壊点と決定し、 $dE/dx$ 算出に使用

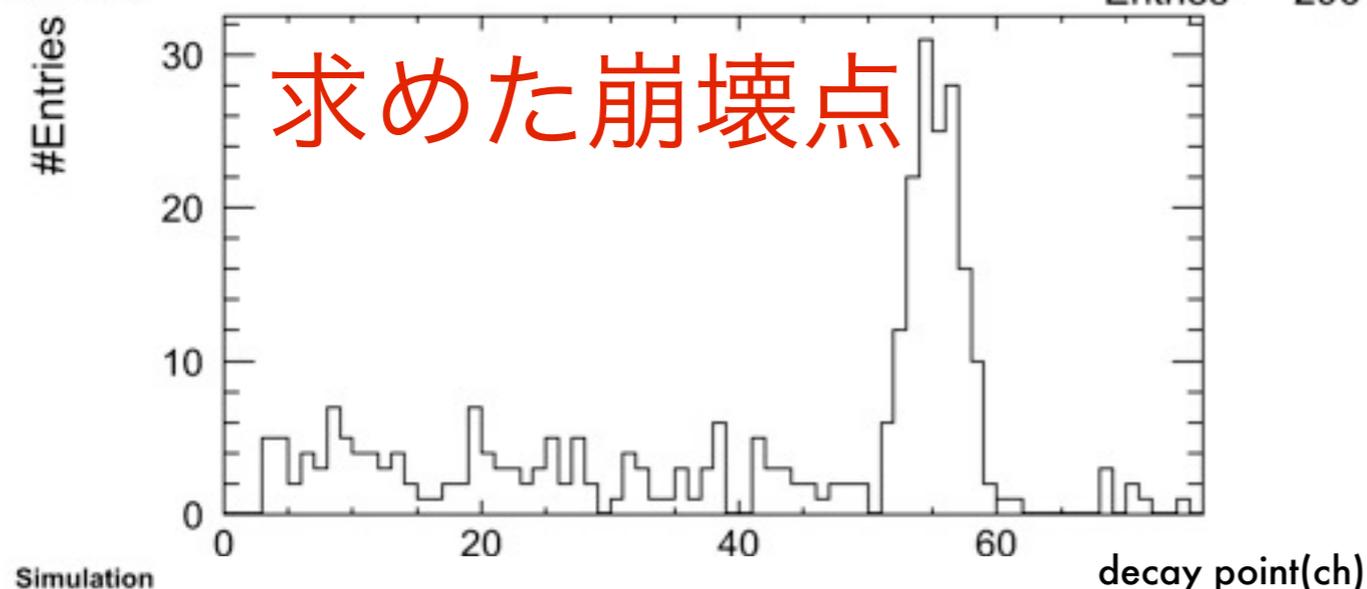
# Algorithmのチェック

# 崩壊点の決定の正しさ

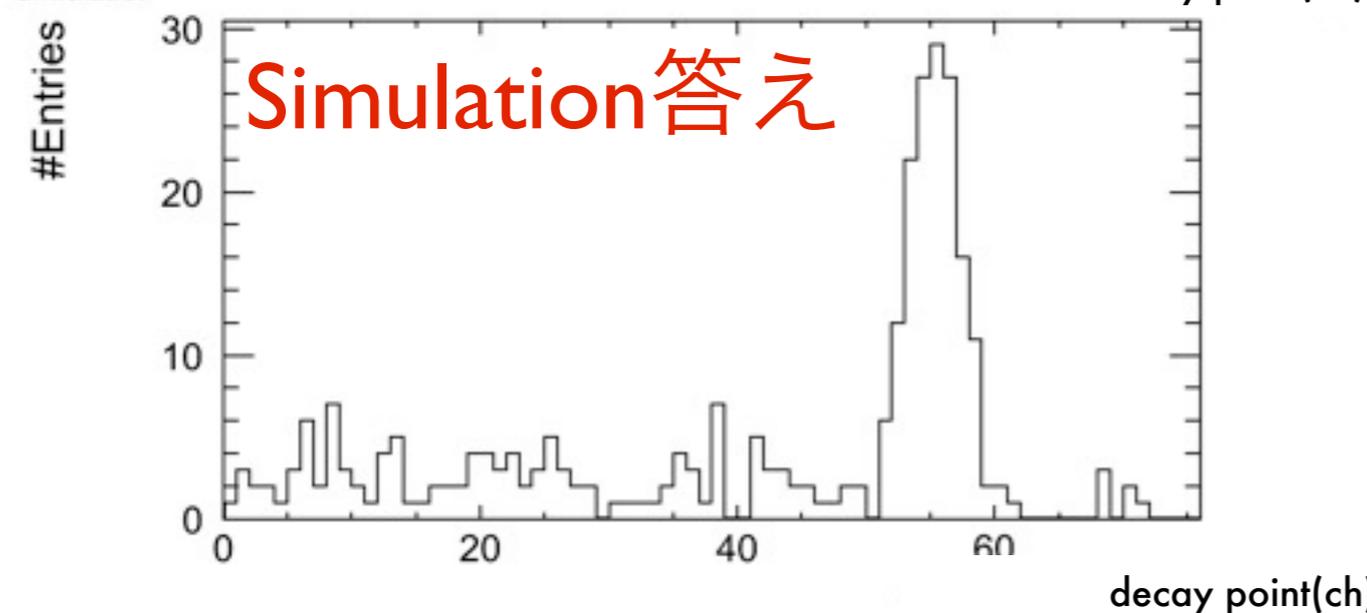
❖ K/ $\pi$ 識別には崩壊点の決定が重要

➔ Track Finding Algorithmにより求めた崩壊点の正しさの検証

Kaon data Entries 296



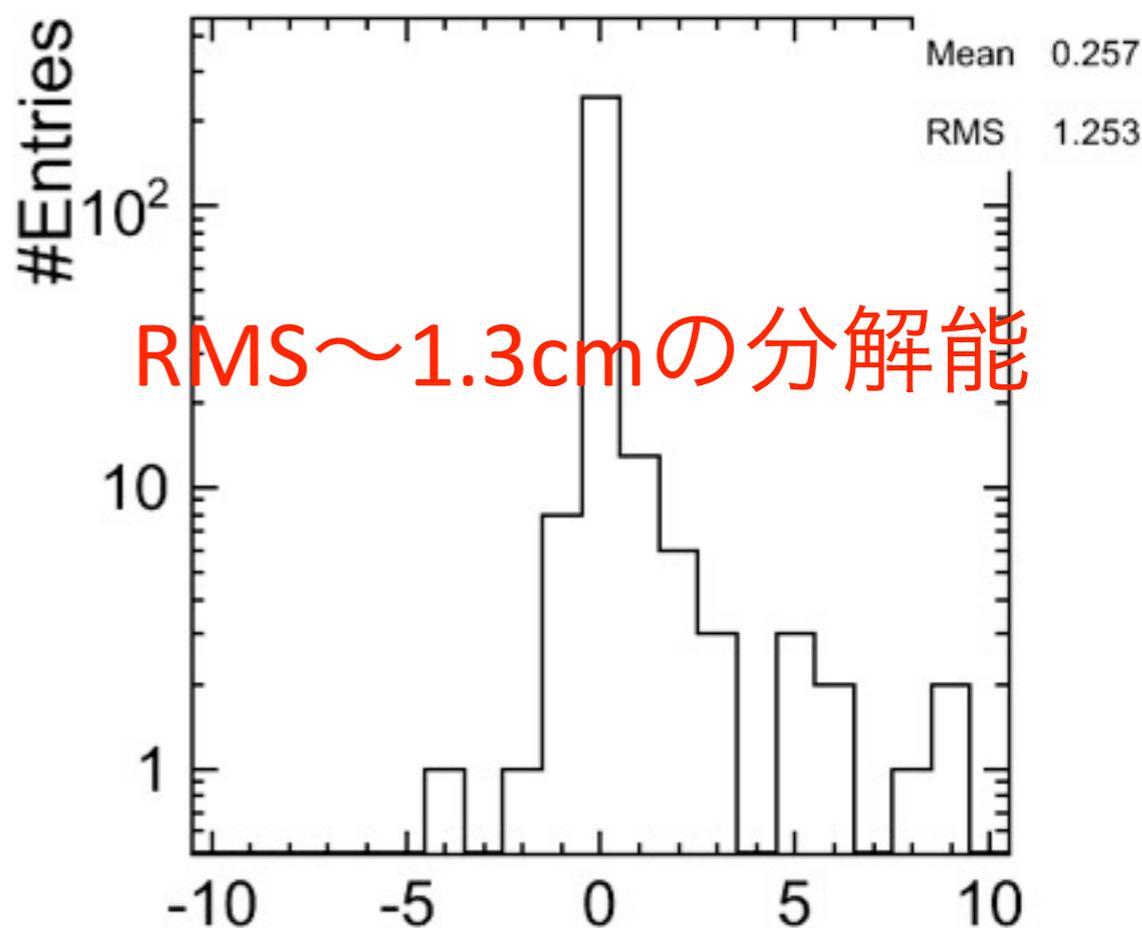
Simulation Entries 296



どこで崩壊したか答えをわかる

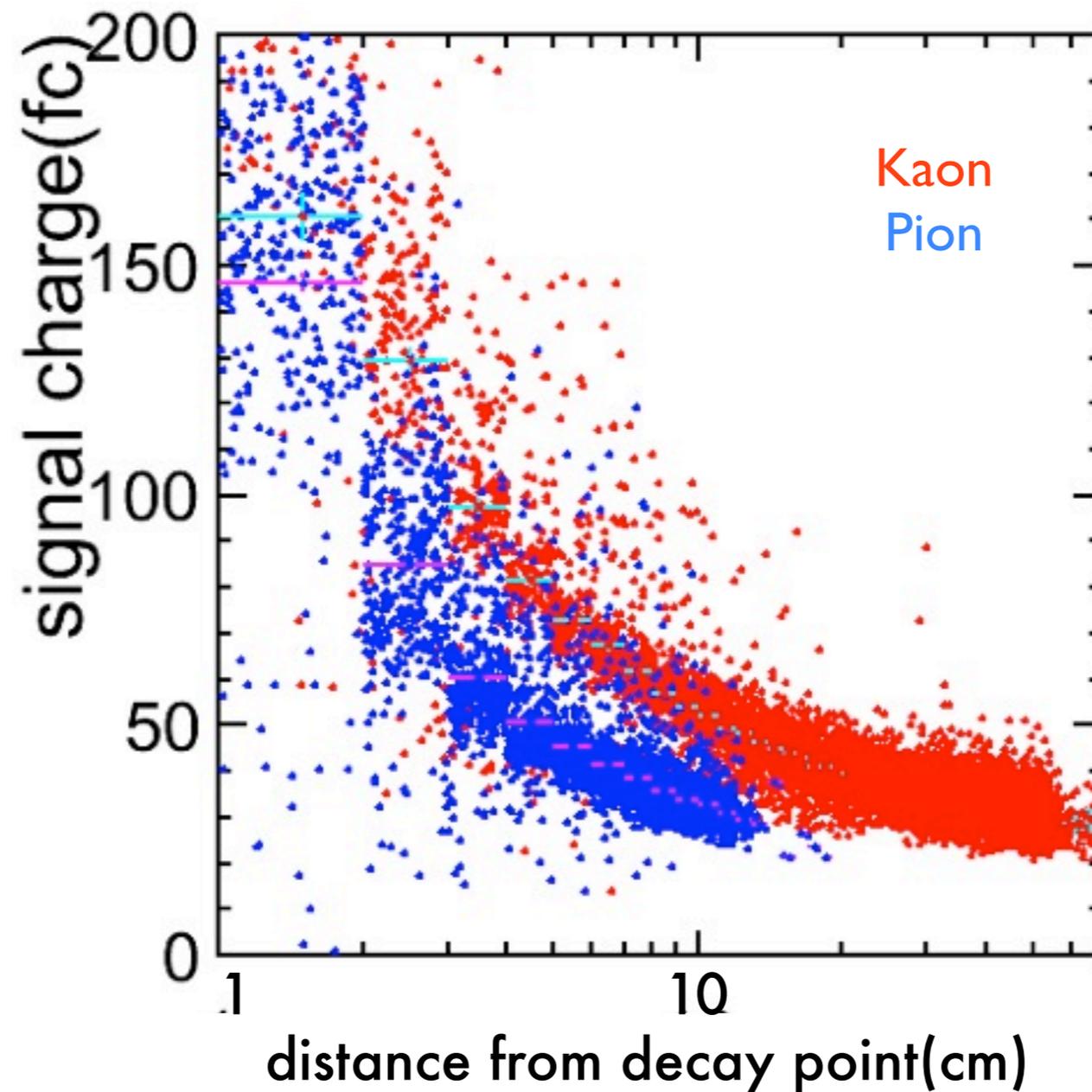
decay point dif Entries 296

Mean 0.257  
RMS 1.253



求めた崩壊点-Simulation答え(cm) 18

# Geant4 SimulationによるdE/dx結果



K/ $\pi$ がある程度分離できている

# Summary & Future Plan

## Summary

- ❖ このstudyに使った解析手法を用いることで、MCではある程度 $dE/dx$ で分離できることがわかった。

## Future Plan

- ❖ 崩壊点決定方法の改良し、実データに適用する。
- ❖  $K/\pi$ 識別能力を検証し、Reduction factor、signal efficiencyを求める。
- ❖ 1次元読み出しから2相型2次元読み出しにした時の識別能力を推定する。

backup

写真

# 250L容器搬出 from KEK

KEK



# 250L容器搬出 from KEK



# 250L容器搬入

Hadron Hall



# 250L容器搬入

Hadron Hall



# 250L容器搬入

Hadron Hall



# 250L容器搬入

Hadron Hall



# 250L容器搬入

Hadron Hall



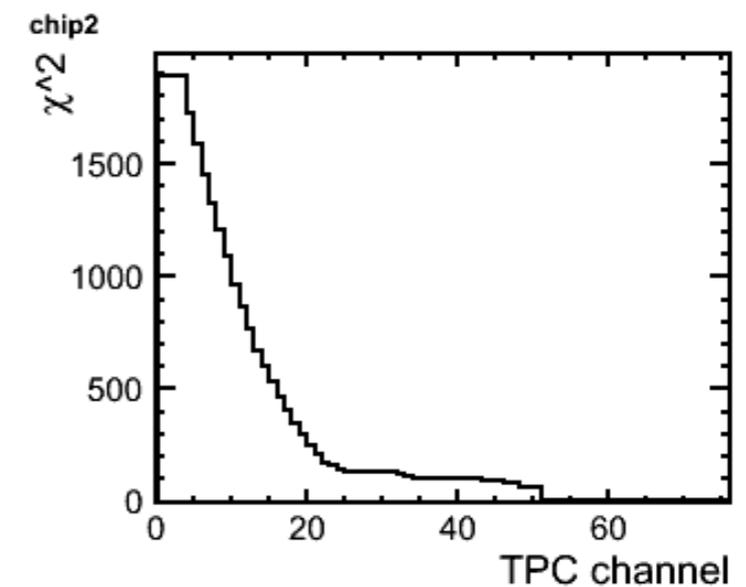
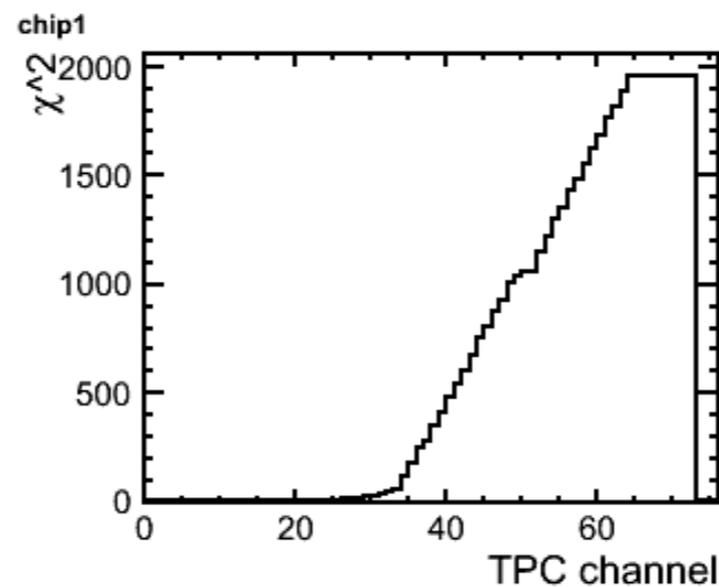
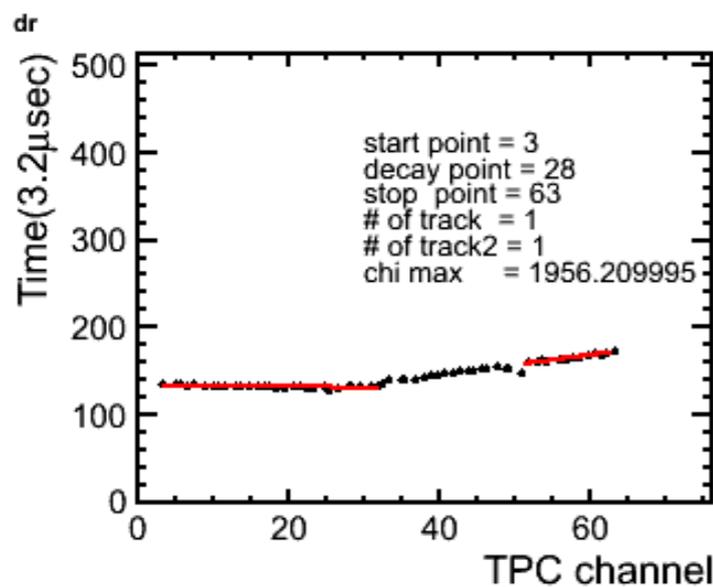
# 250L容器搬入

Hadron Hall



# 崩壊点の決定

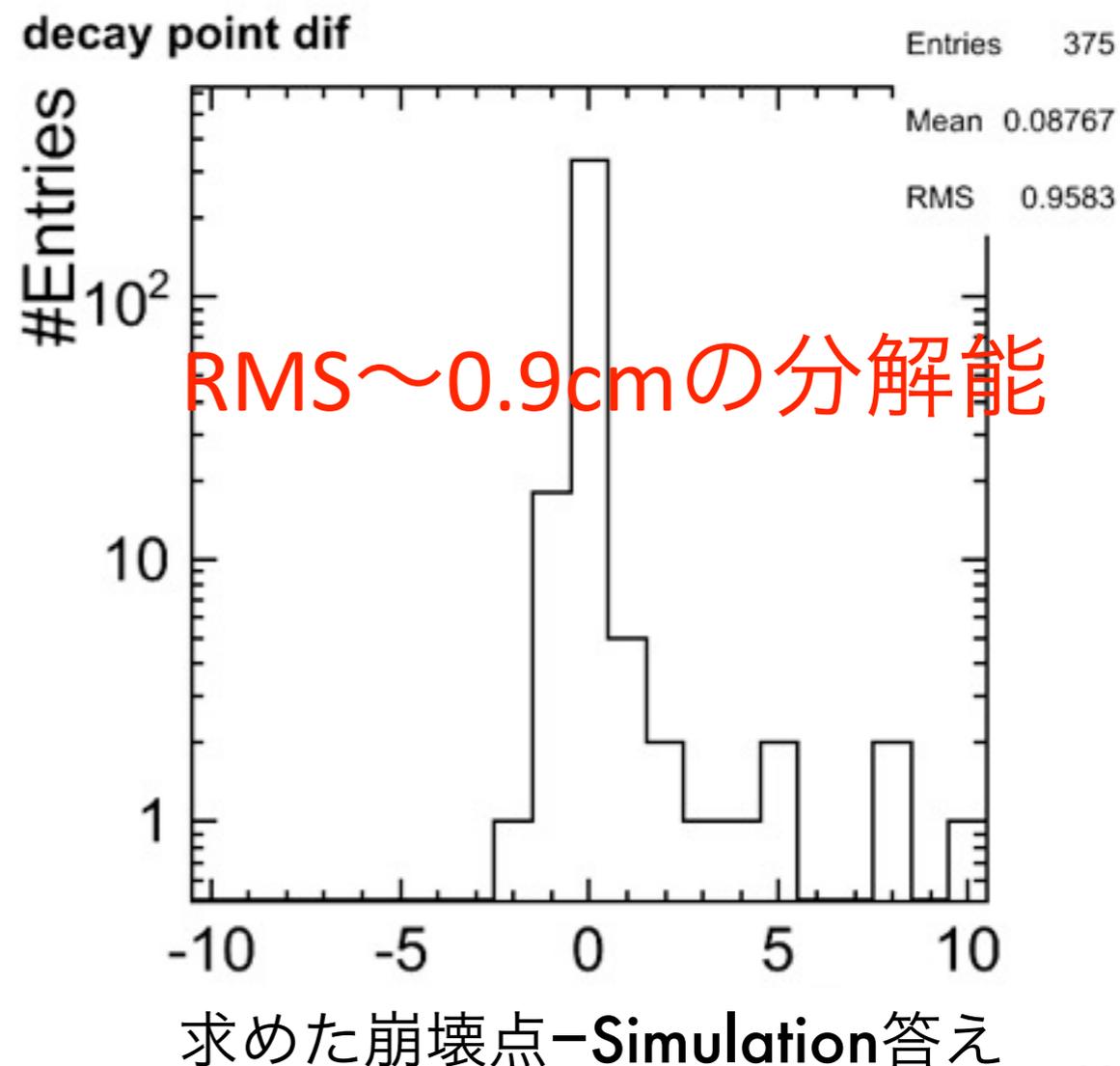
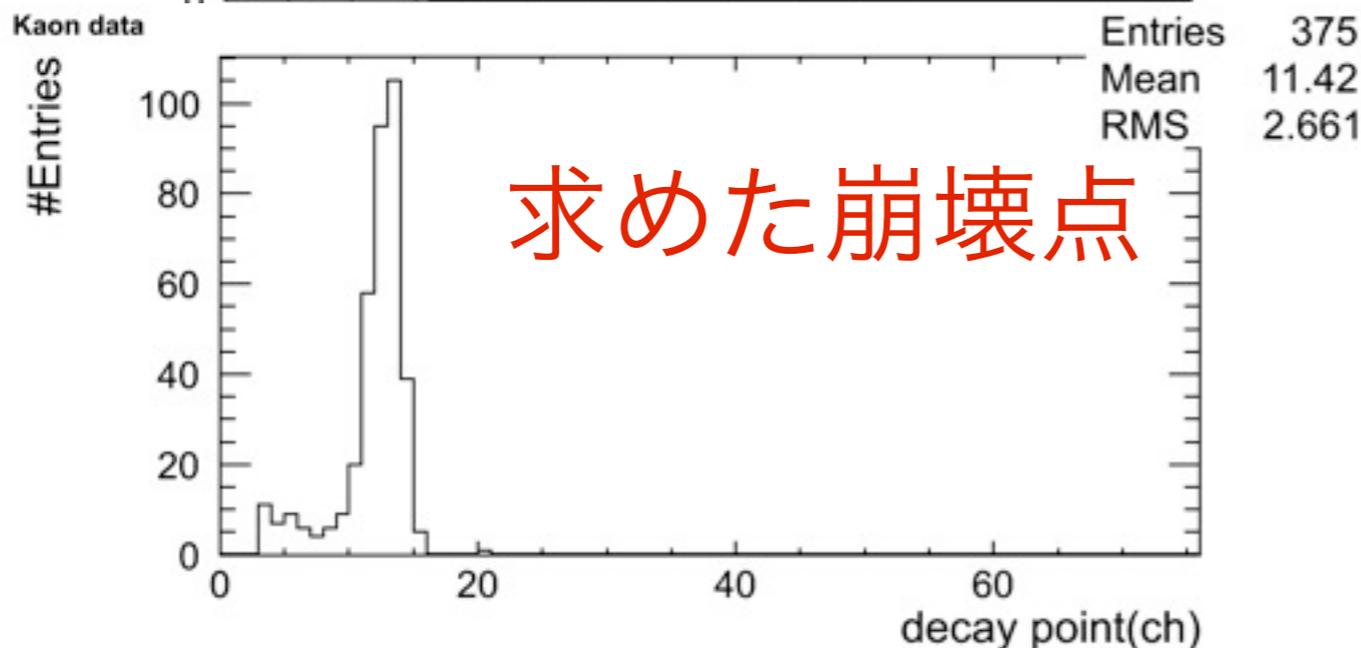
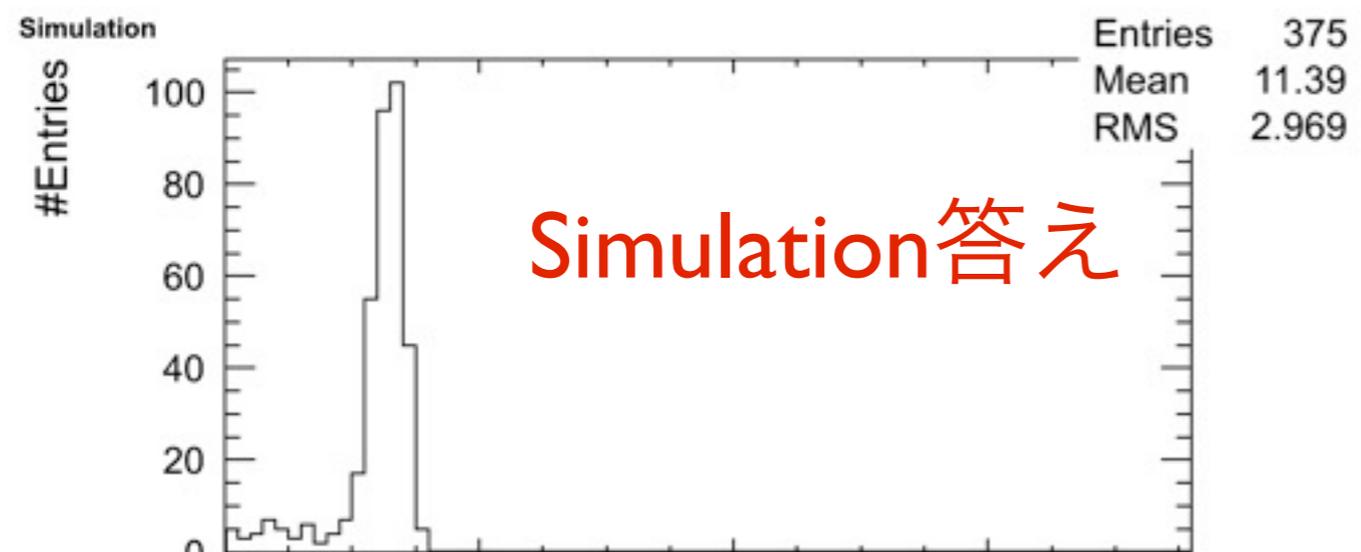
- Start pointからfitする
  - start point+1
  - ⋮
  - start point ~ stop point
- fitの $\chi^2$ が50以上になったチャンネルを $\chi^2$ 悪化点①とする。
- end pointから同様にfitし $\chi^2$ 悪化点②を決定する。
- Start- $\chi^2$ 悪化点①の直線と $\chi^2$ 悪化点②-stopの直線を仮のdecay pointとする。



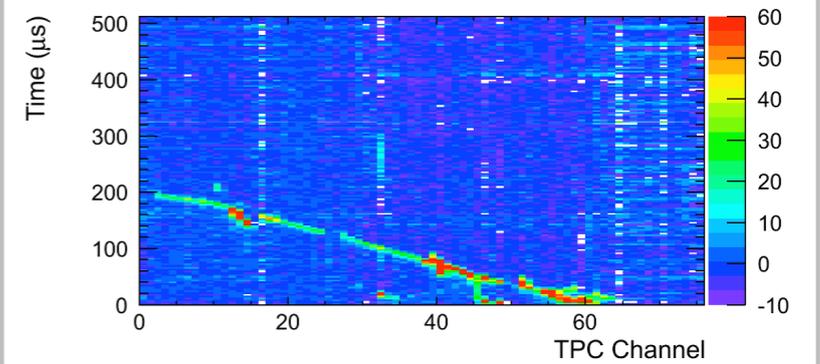
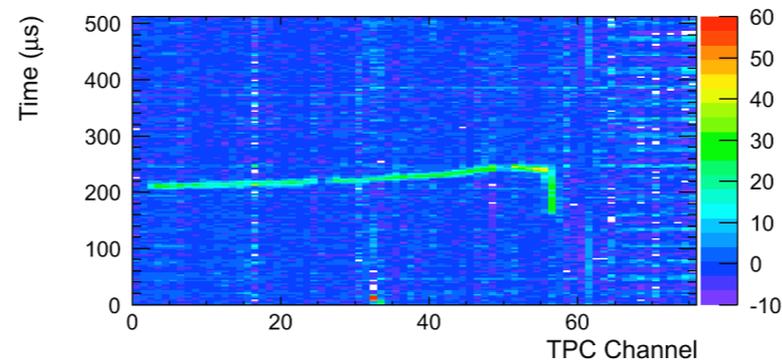
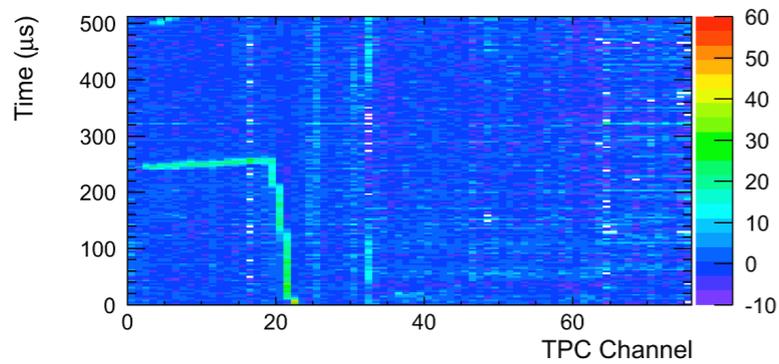
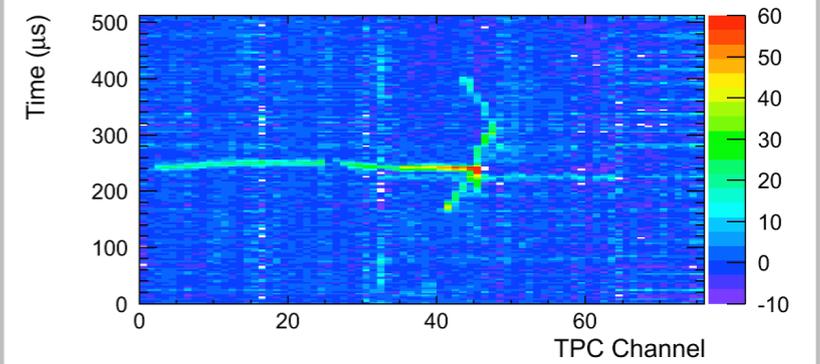
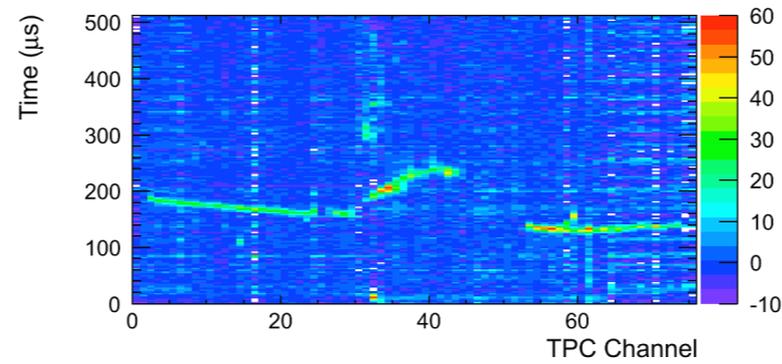
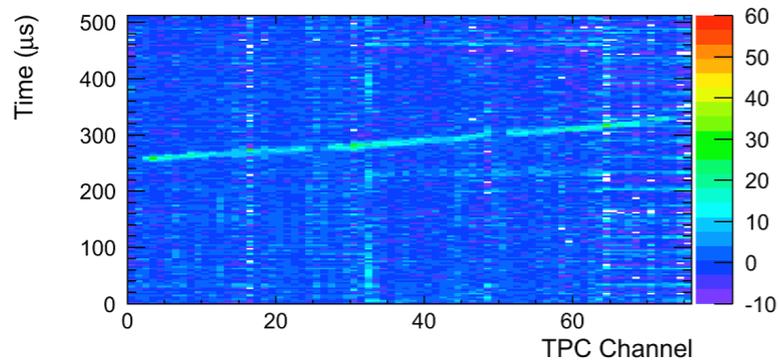
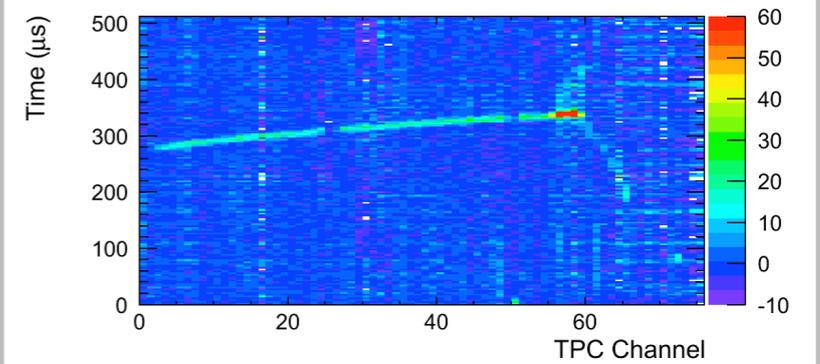
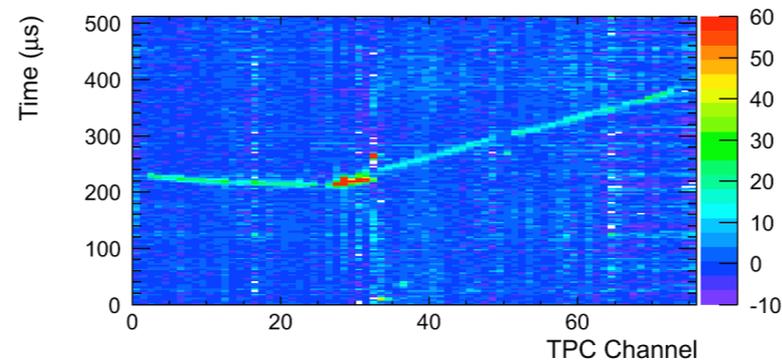
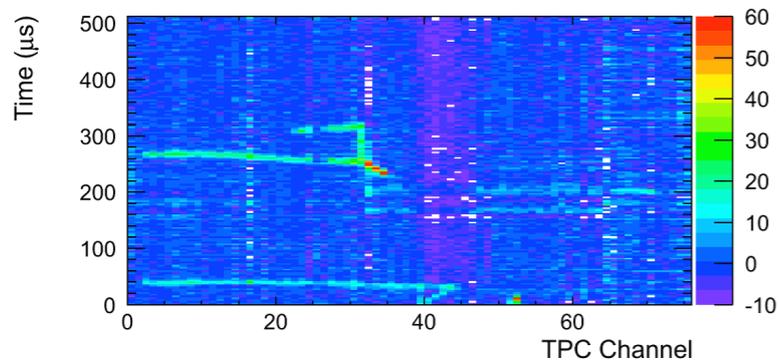
# 崩壊点の決定の正しさ

❖ K/ $\pi$ 識別には崩壊点の決定が重要

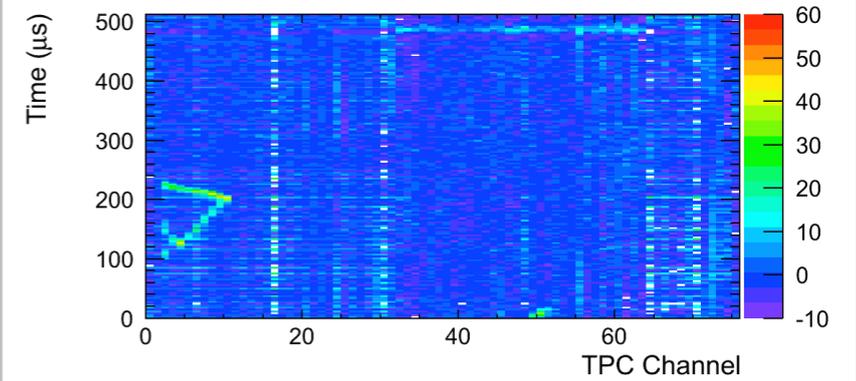
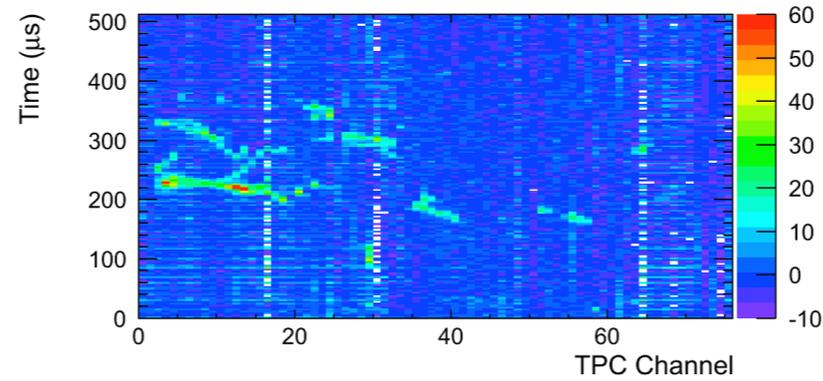
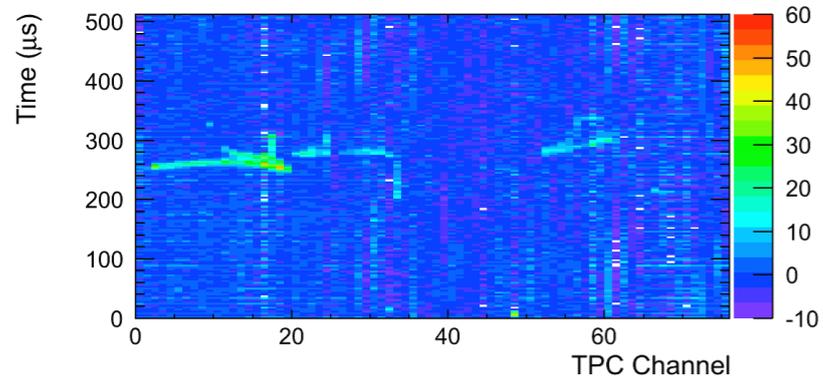
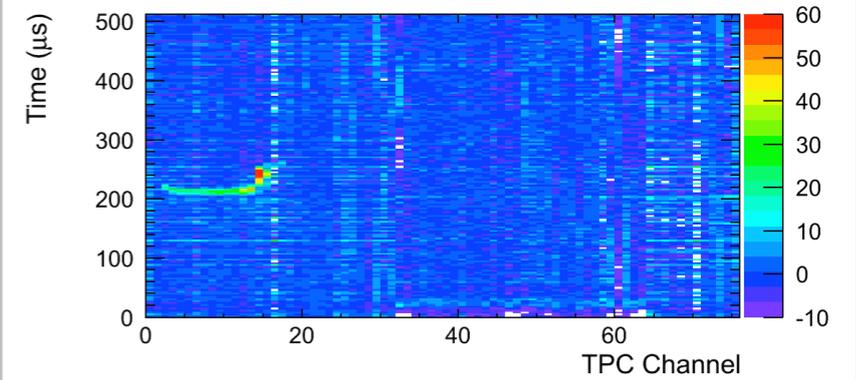
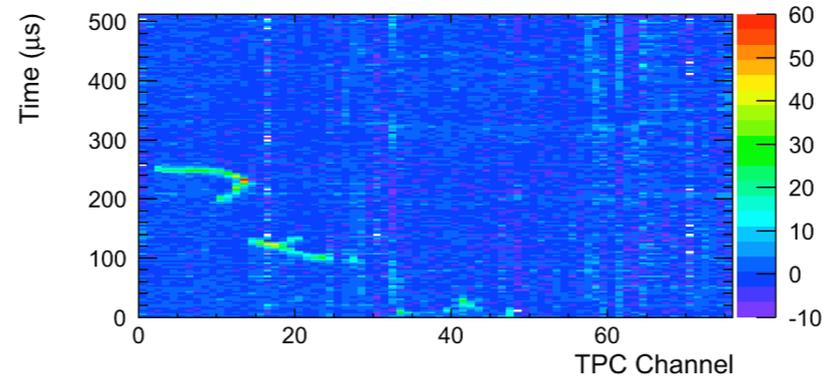
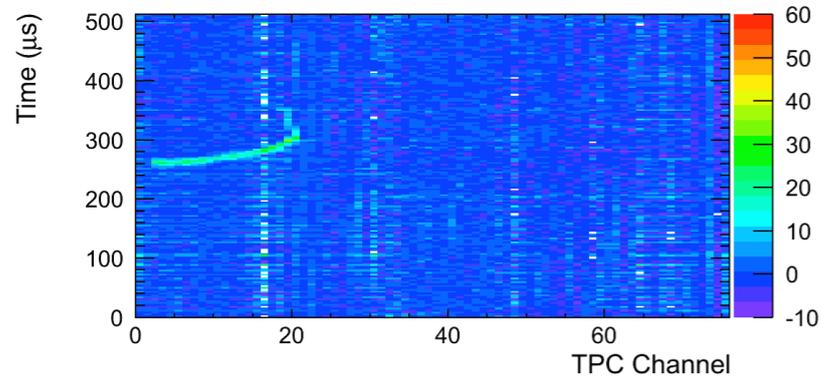
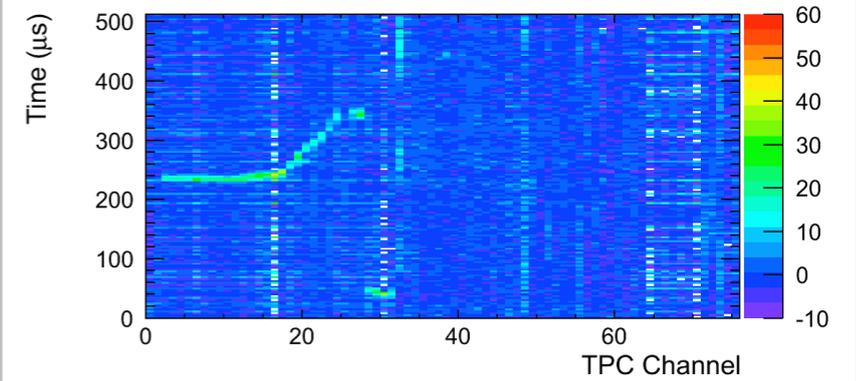
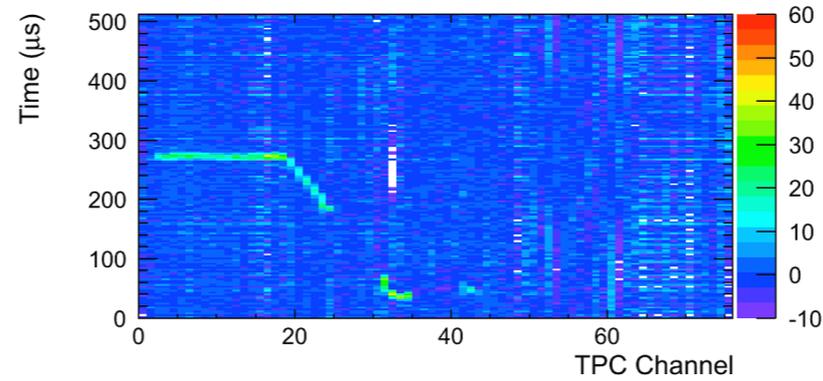
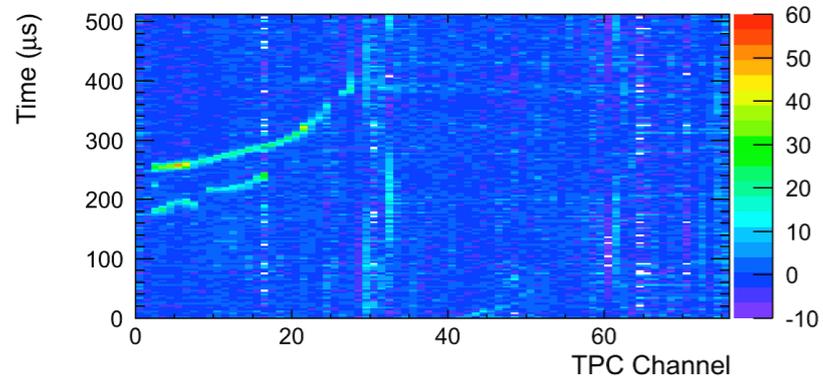
➡ Track Finding Algorithmにより求めた崩壊点の正しさの検証



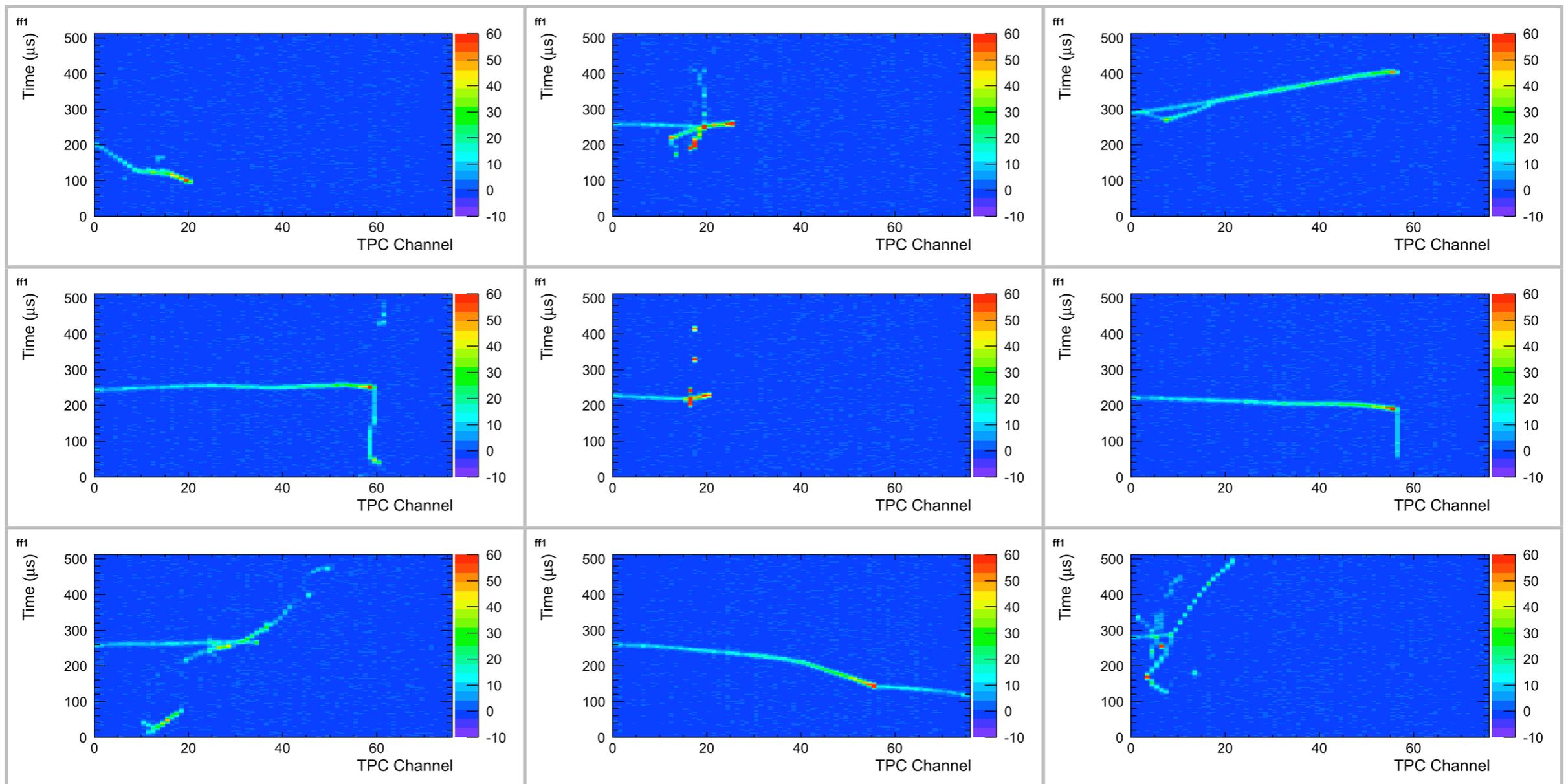
# Event display(Kaon)



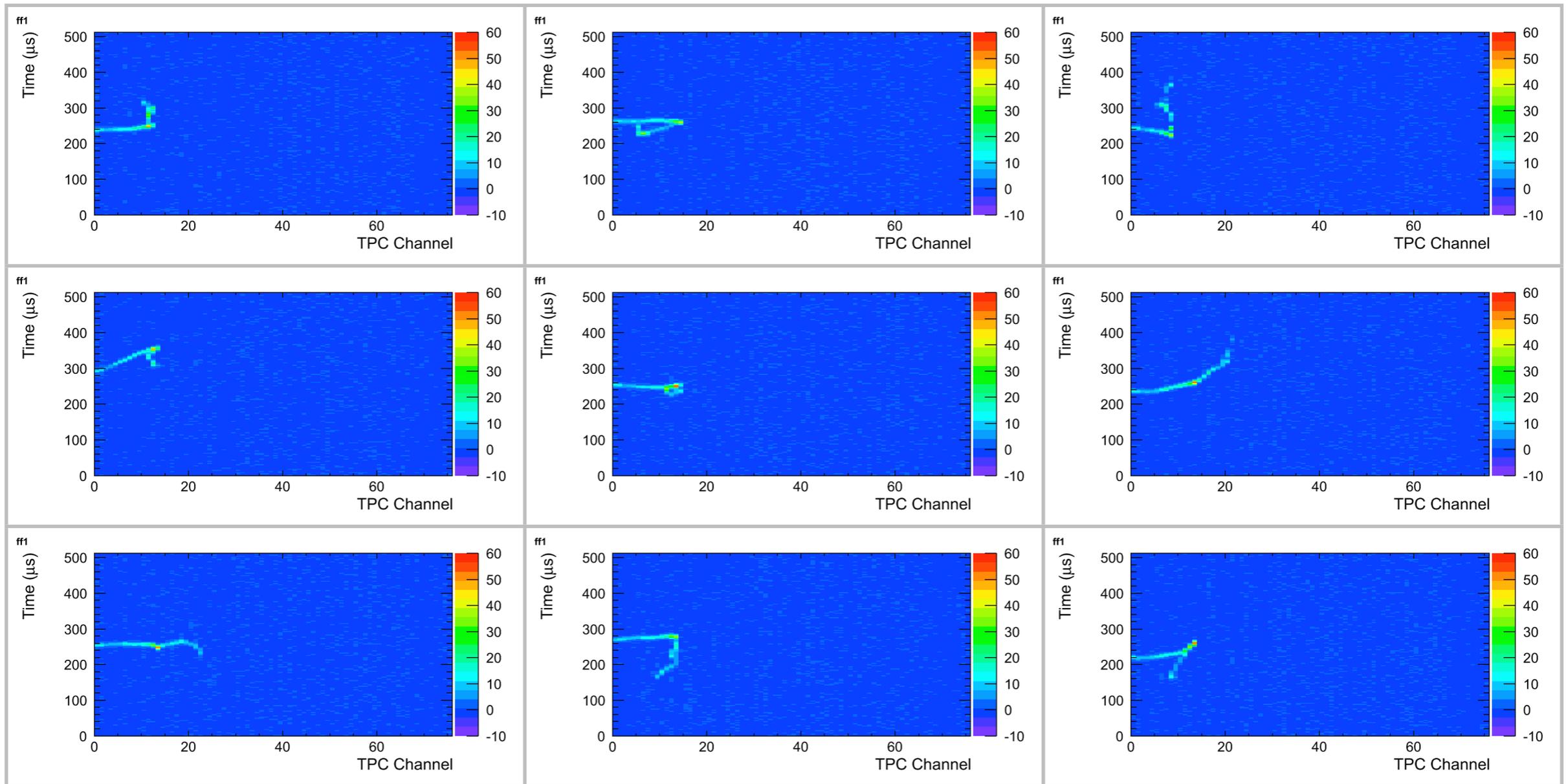
# Event display(Pion)



# 崩壊点がmatchしなかったもの



# 崩壊点がmatchしなかったもの



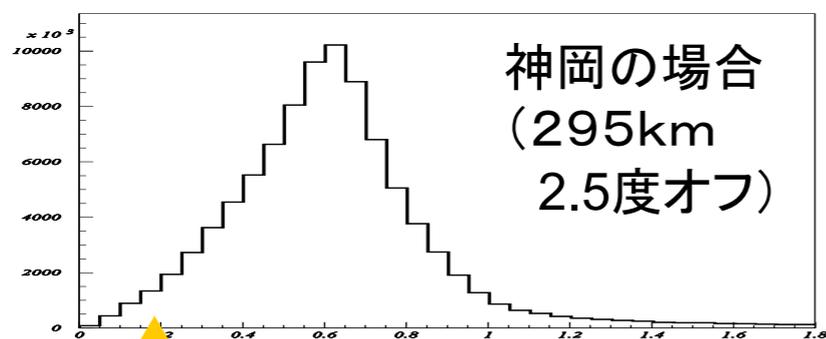
# 核子崩壊まとめ

BG:Event/100kt・yr

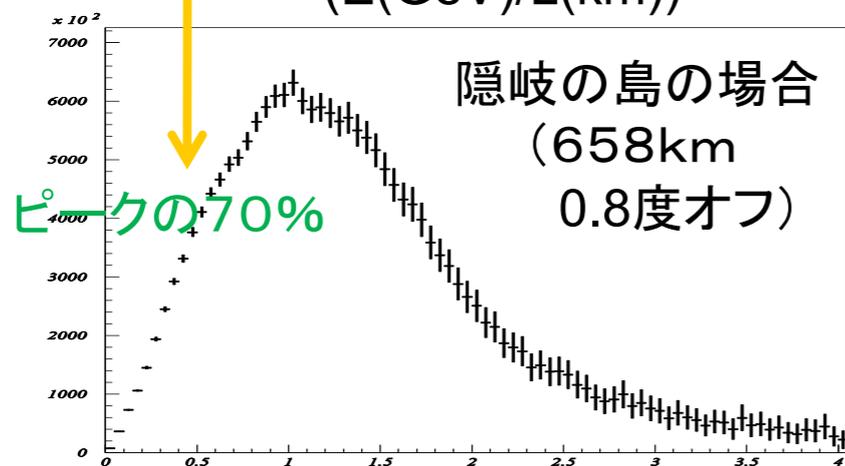
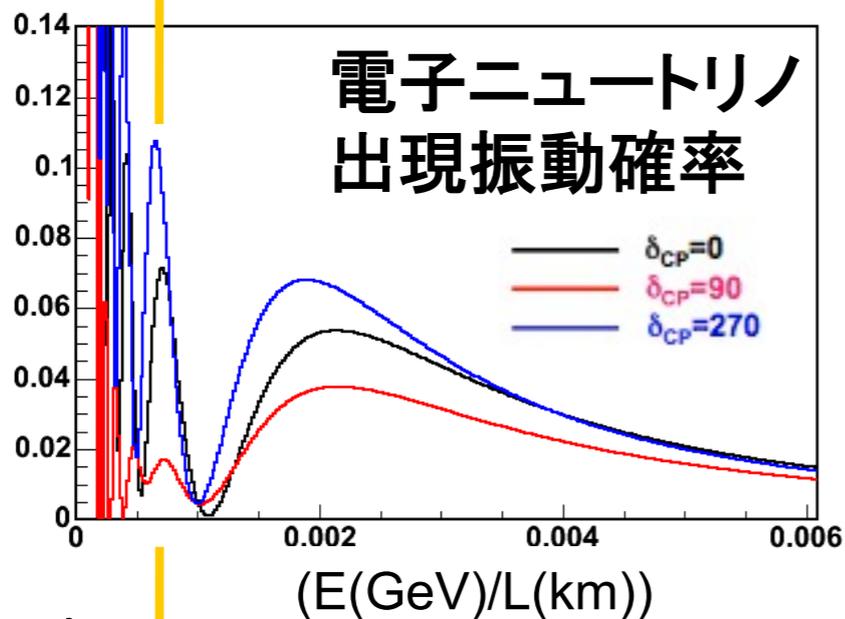
	Water Cherenkov		Liquid Argon TPC	
	Efficiency	Background	Efficiency	Background
$p \rightarrow e^+\pi^0$	45%	0.2	45%	0.1
$p \rightarrow \mu^+\pi^0$	36%	0.2	45%	0.8
$p \rightarrow K^+\nu$	14%	1.3	97%	0.1
$p \rightarrow K^0\mu^+$	8%	0.8	47%	0.2

- ❖  $\pi$ モードに対しては水チェレンコフと液体アルゴンは同等の感度を持つ。
- ❖ Kモードに対しては液体アルゴンは水チェレンコフより圧倒的に優れた感度を持つ

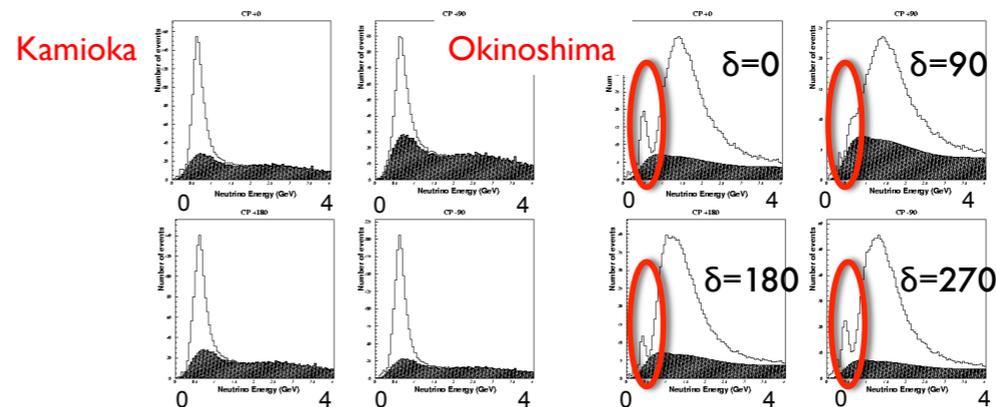
# なぜ隠岐の島？



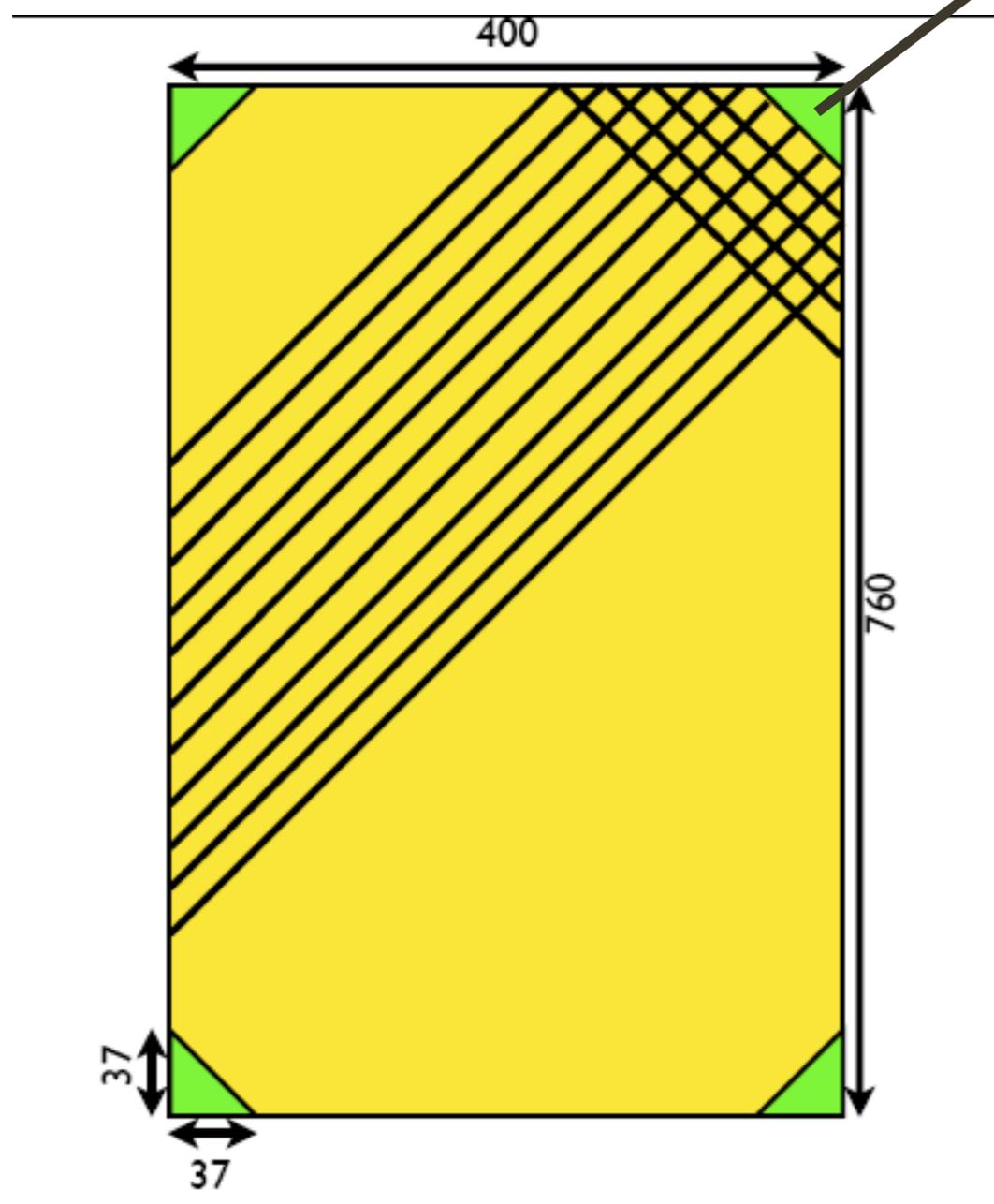
ピークの10%



- T2Kは振動の第1ピークをみることにオプティマイズされている(第2ピークの $\nu$ 数が少ない)
- 隠岐の島は、距離が長い分とオフ角度が浅いことで、第2ピークも $\nu$ 数が大きい。

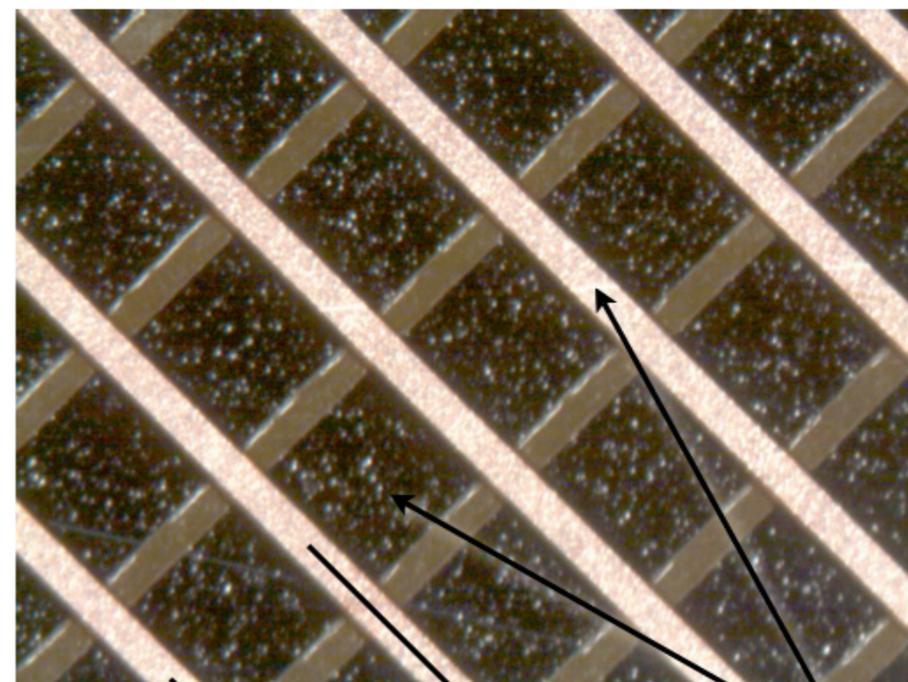


# Anode



non-instrumented areas

- angle: +/- 45deg
- readout pitch: 3mm
- intrinsic pitch: 0.6mm
- strip width: 120&500um
- channels: 2x256 (16 cables)

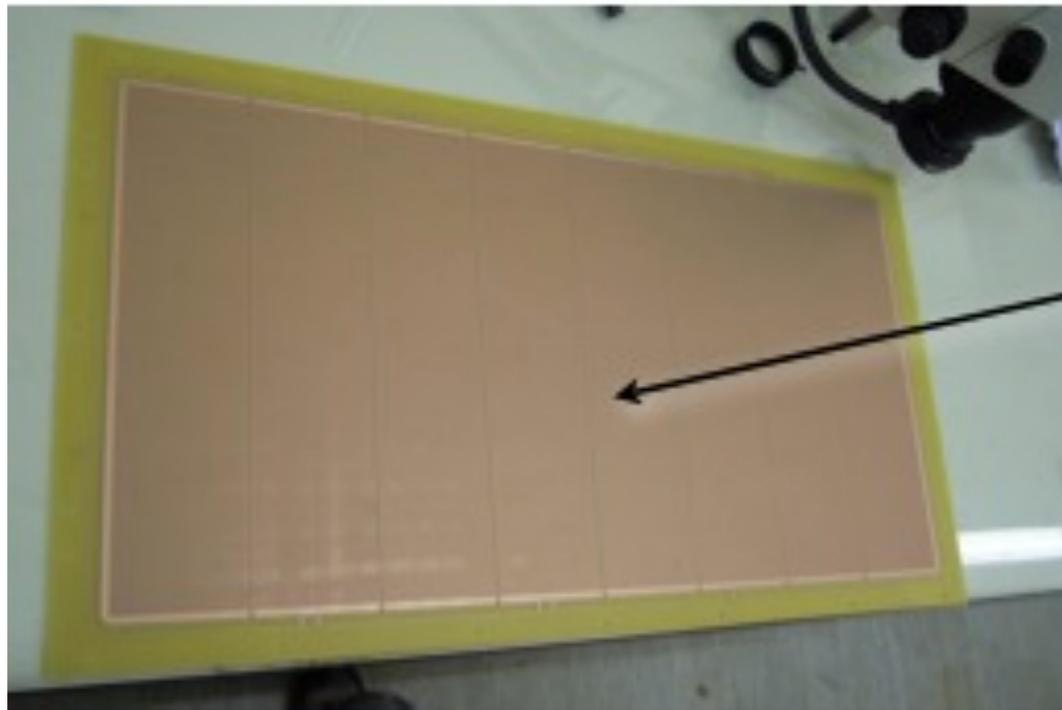


Active area: 99.1%

600 um

Strips

# LEM

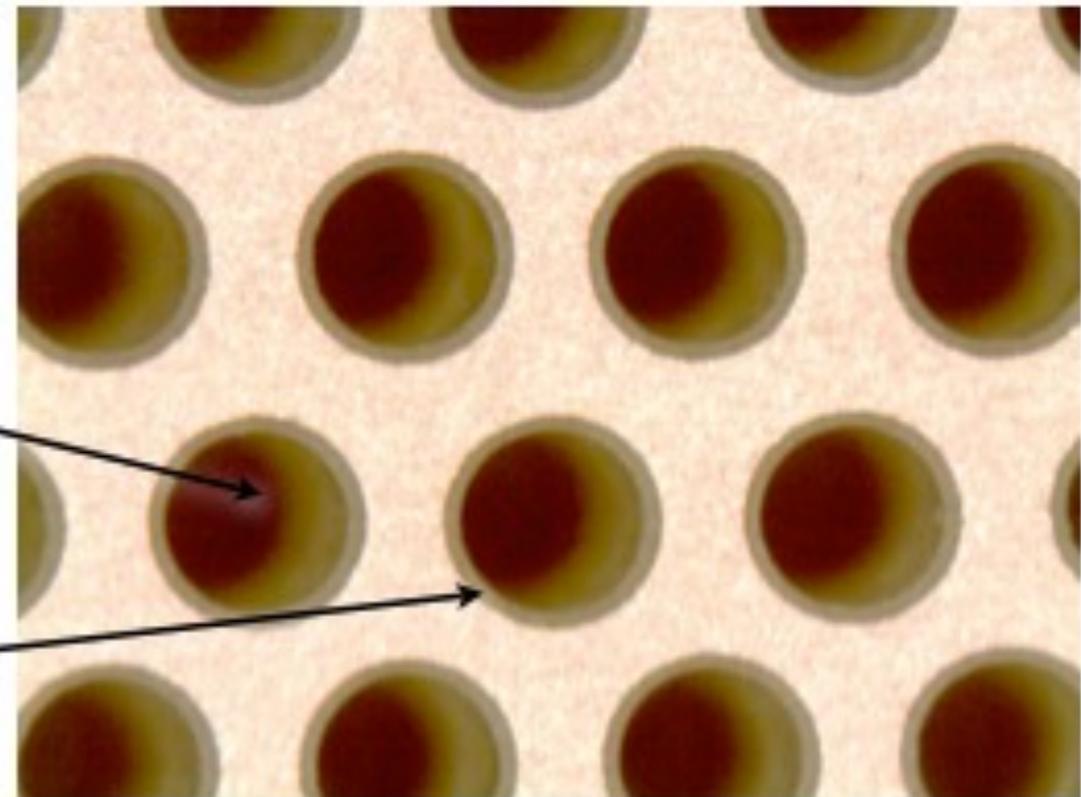


Segmented LEM

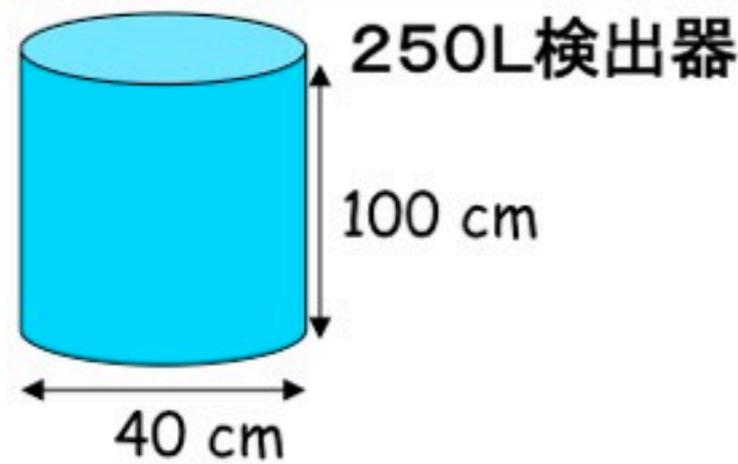
LEM holes

PCB thickness: 1mm  
hole diameter: 500um  
hole pitch: 800um  
hole rim: 50um

Dielectric rim



# 巨大検出器への戦略



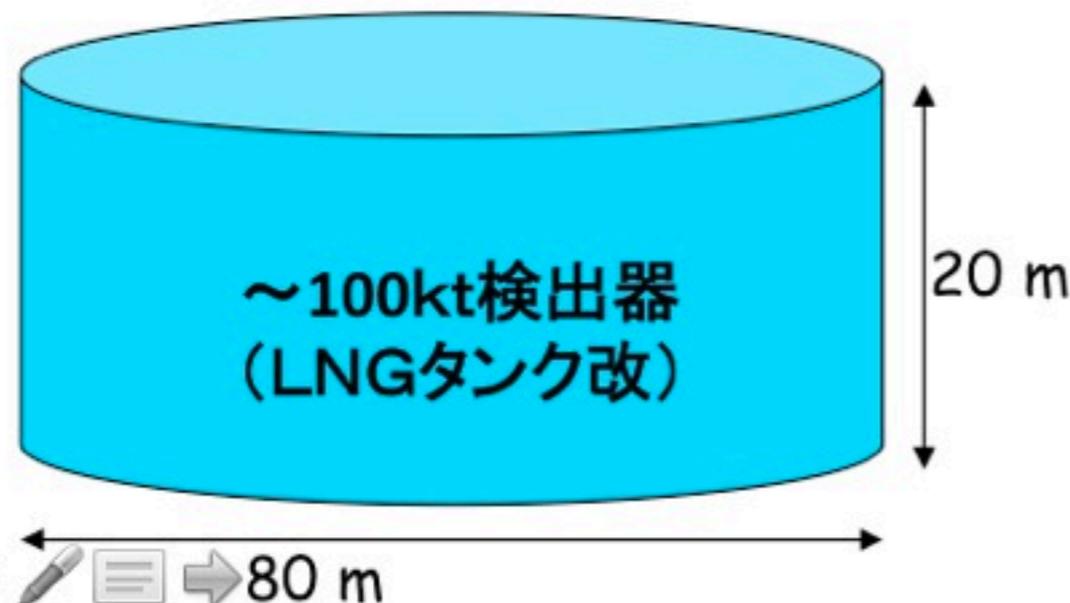
- 巨大検出器を作る前に数個のステップを用意している。  
10L → 250L → 数t~1kt → 100ktレベル

- **最初のステップとして、KEKに10Lのテストベンチを作成した。今年度、250L(0.4トン)レベルの検出器をJ-PARCハドロンビームでビームテスト。**

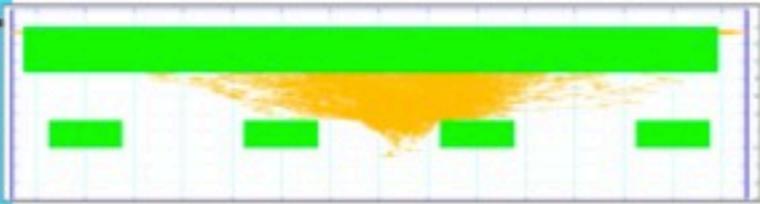
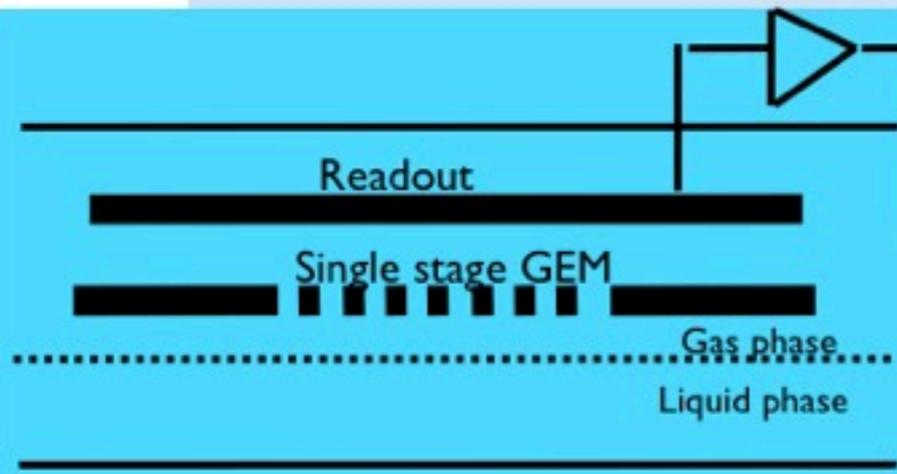


- 技術要素（これらは(部分的に)確立されているが、**青字部分**は特に将来性を含めて確認が必要な部分)

- ガス・液体アルゴンの純化方法
- 再結合・ドリフト速度・拡散の性質測定
- 純度・温度・圧力等のモニター、コントロール
- 解析
- シンチレーション光(128nm)検出
- **真空引き無し**で高純度達成／**長距離ドリフト**
- **2相検出(+ガス増幅)**、読み出し
- **タンク(熱流入コントロール)**
- **冷却方法**
- **高電圧 (~1000000V)**
- **長期安定性**

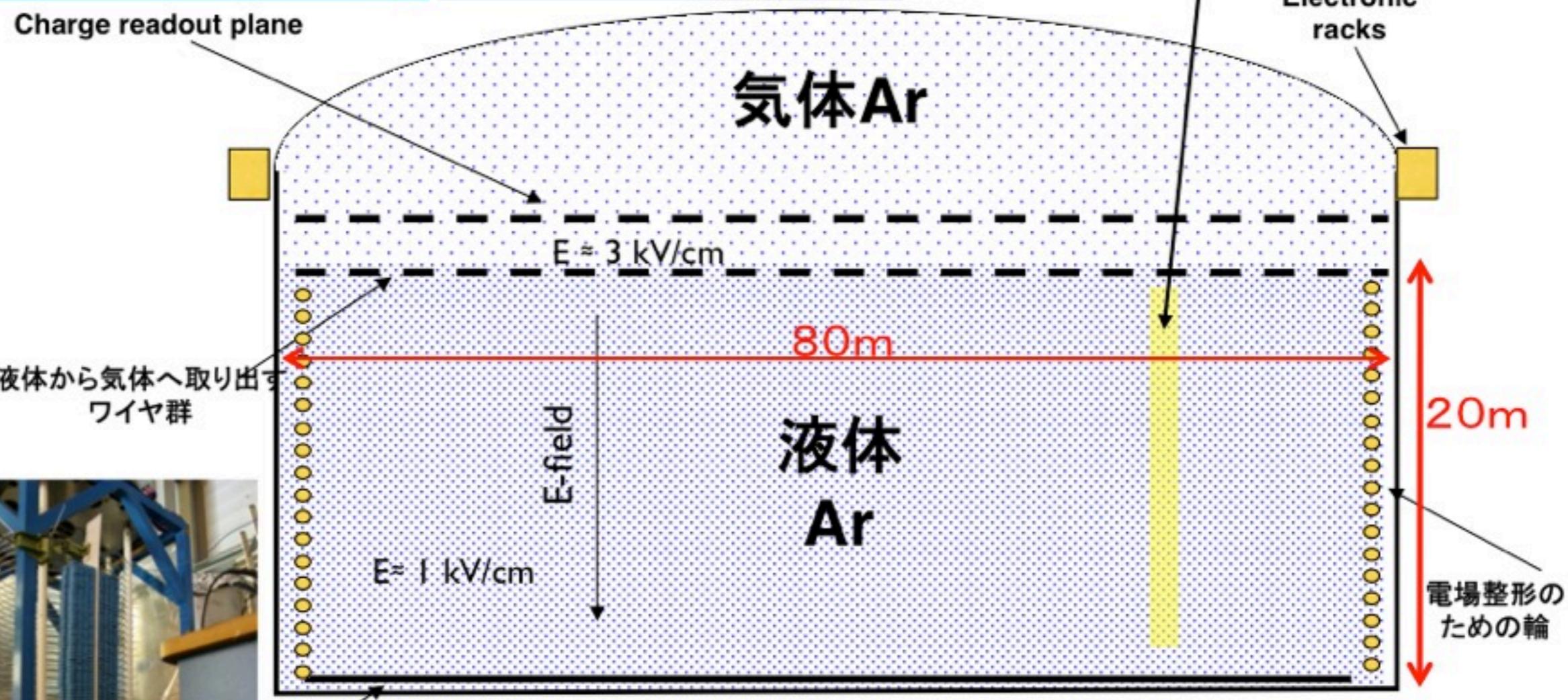


# 100KT検出器(イメージ)と主な開発要素



液体相、ガス相の2相を使った読み出し。ガス相ではGEMを使った増幅も考えている。

円筒型のテスト用液体アルゴン検出器を使った長距離電離電子ドリフトのテスト



電子が嫌う—の高電圧をかける。



MVをかけられる高電圧系

- 他にも、
- タンク
  - アルゴン純化システム
  - エレクトロニクス 等