

# スーパーカミオカンデの 超新星ニュートリノ観測用 DAQの開発

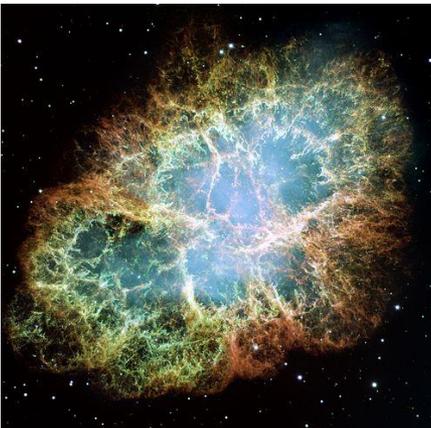
森 正光

京都大学 高エネルギー物理学研究室 M1

ICEPPシンポジウム

# 概要

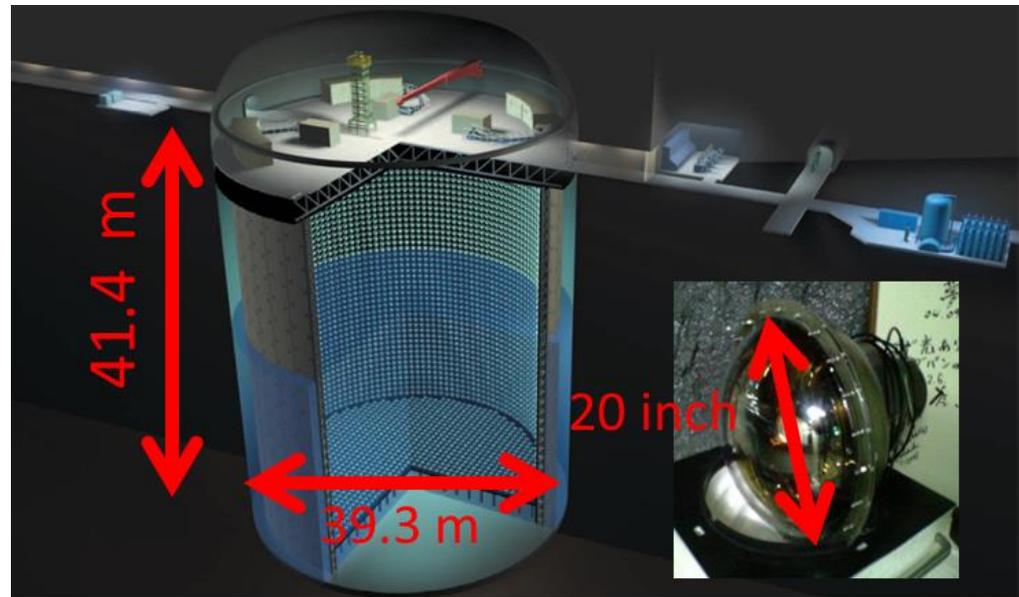
- 超新星爆発
  - 太陽の8倍以上の質量を持つ恒星が死ぬとき、大爆発を起こす。
  - $1.0 \times 10^{54}$  ergもの莫大な重力エネルギーを開放する。
  - そのエネルギーの約99%はニュートリノとして放出される。
- 超新星爆発の機構にはまだ未解明な部分がある。
- 超新星ニュートリノを観測できれば、**恒星内部の状態**を知る手掛かりになる。
- しかし、実際に観測したの30年前に一度きり
- 地球近傍で起こった超新星爆発の例
  - SN 393 記録の残っている最古の超新星
  - SN 1006 記録の残っているもっとも明るい超新星 日中でも見えた
  - SN 1054 日中でも見えた超新星



SN 1054の残骸  
かに星雲

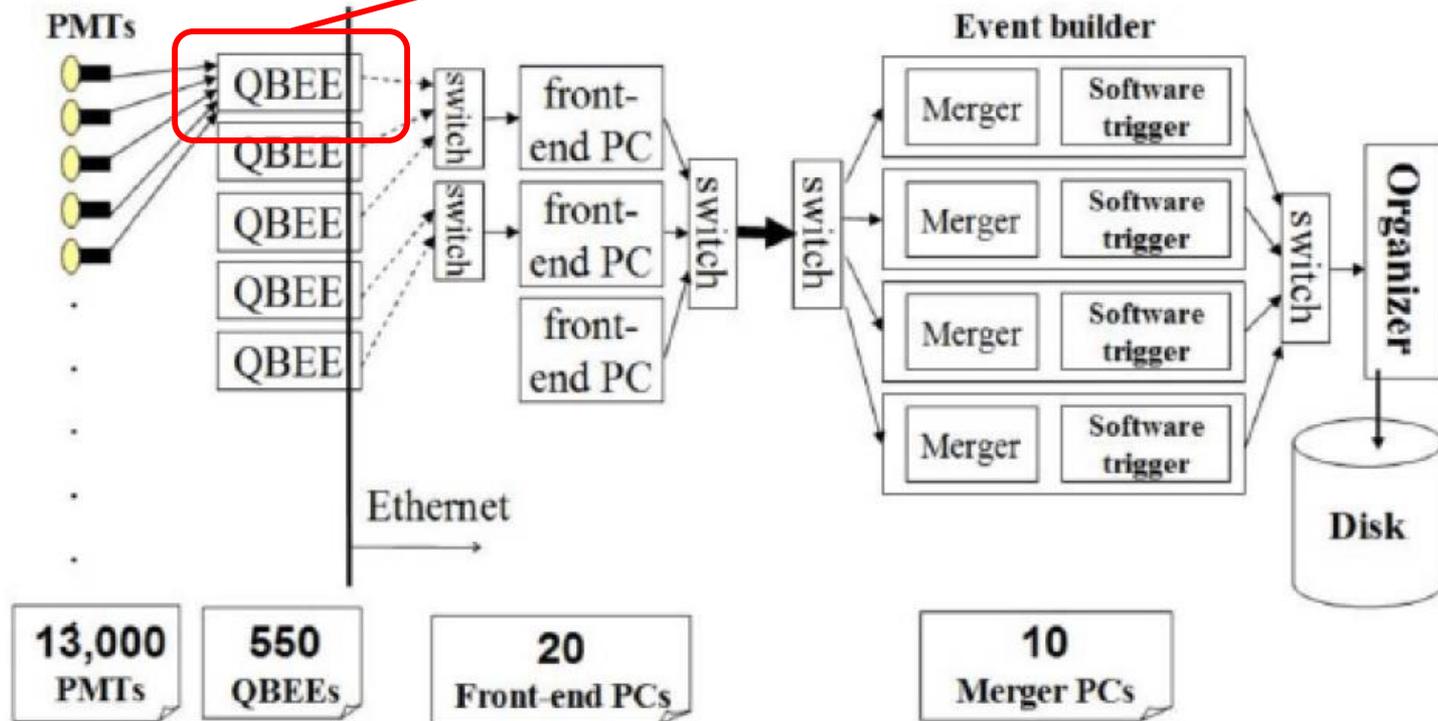
# Super Kamiokande

- 旧神岡鉱山にある、水チェレンコフ型の検出器
  - 直径：41.4m
  - 高さ：39.3m
  - Fiducial Volume：22.5kton
  - PMTの数 約13,000本
- 前身のKamiokandeでは、1987年に11イベントの超新星ニュートリノを観測
  - ノーベル賞(2002年)
  - これにより、重力崩壊モデルが裏付けられた。



# Super KamiokandeのDAQ

- QBEE: QTC Based Electronics with Ethernet
- 24本のPMTの信号を受け取っている。
- 信号の電荷や時間情報をデジタル化してフロントエンドPCに送っている



- DAQの処理能力はQBEEのバッファ容量で決まっている。

# 近傍超新星のニュートリノ観測

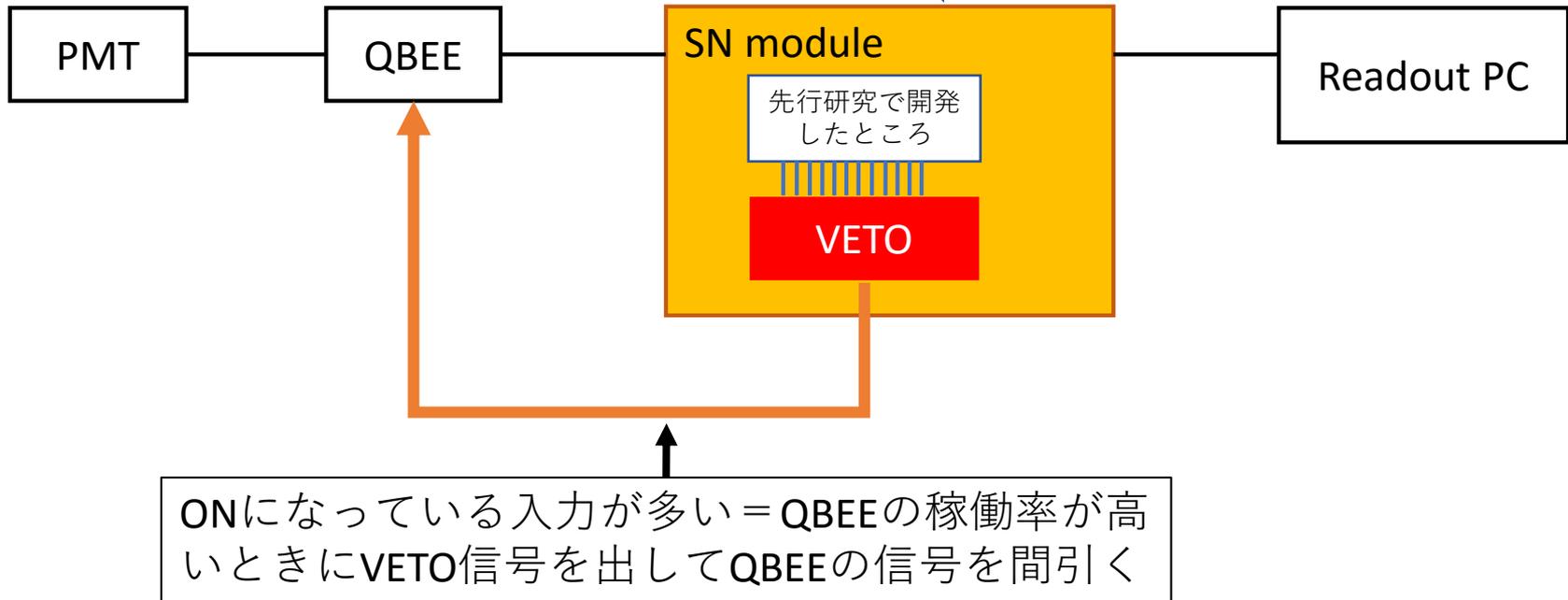
- 地球の近傍で超新星爆発が起こった場合、SKでも大量のニュートリノイベントが予測される。
    - 例 ベテルギウス (640光年)
      - $3.0 \times 10^7$  event/10sec
- ↓
- QBEEの処理能力:  $6.0 \times 10^6$  event/10secを大きく上回る。
    - イベントがすべて取り切れない&イベントの構成ができない
  - 対応できる新DAQを開発(SN module)



# 新DAQシステム概要

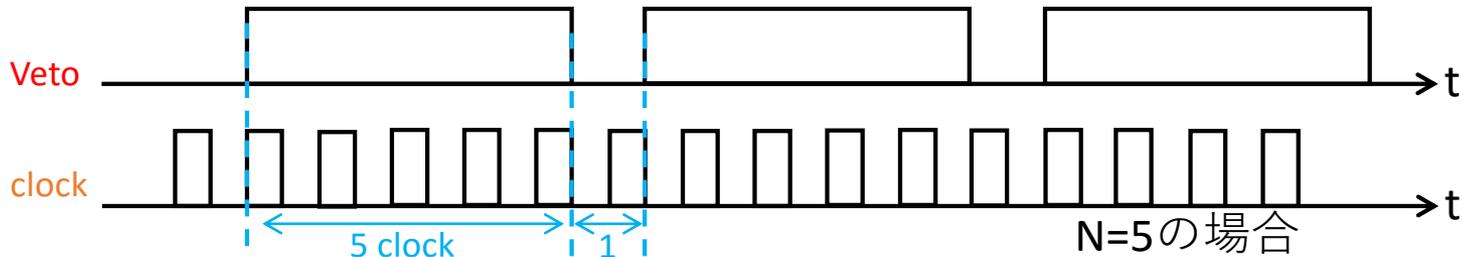
- SN moduleはQBEEの情報をもとに光を検出したPMTを数えて、SNバーストが、あったかどうかを判断している。
- SN moduleは12枚のボードからなり、それぞれがSNバーストを検出したときに信号を出す。
- SN moduleの12本の出力のONの数(QBEEの稼働率)を数えて、SNバーストがあった場合、QBEEのclockに同期したveto信号を出して、イベントを間引くことで、QBEEのレートを減らす。

← この部分を担当



# VETOモジュールの仕様

- FPGAを用いて開発
  - GNV-252(Spartan 6)
  - GNV-260(拡張ボード)
- Vetoはclockに同期して、N clock出したら、1clock休み、またN clock出すのを繰り返す。

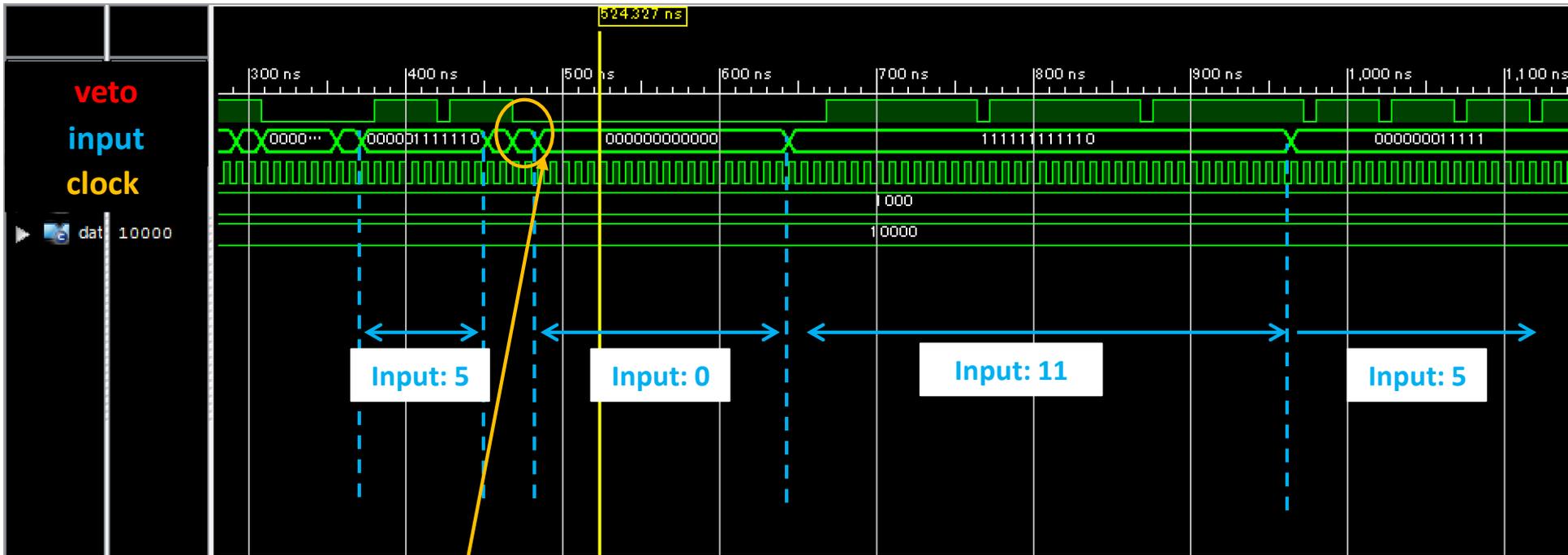


- Nは12本入力のONの数によって変える、ただし一瞬だけ入力が増えてもvetoを出さない。
- 120MHzで動作をして、60MHzの入力に対応する



# VETOモジュールのシミュレーション

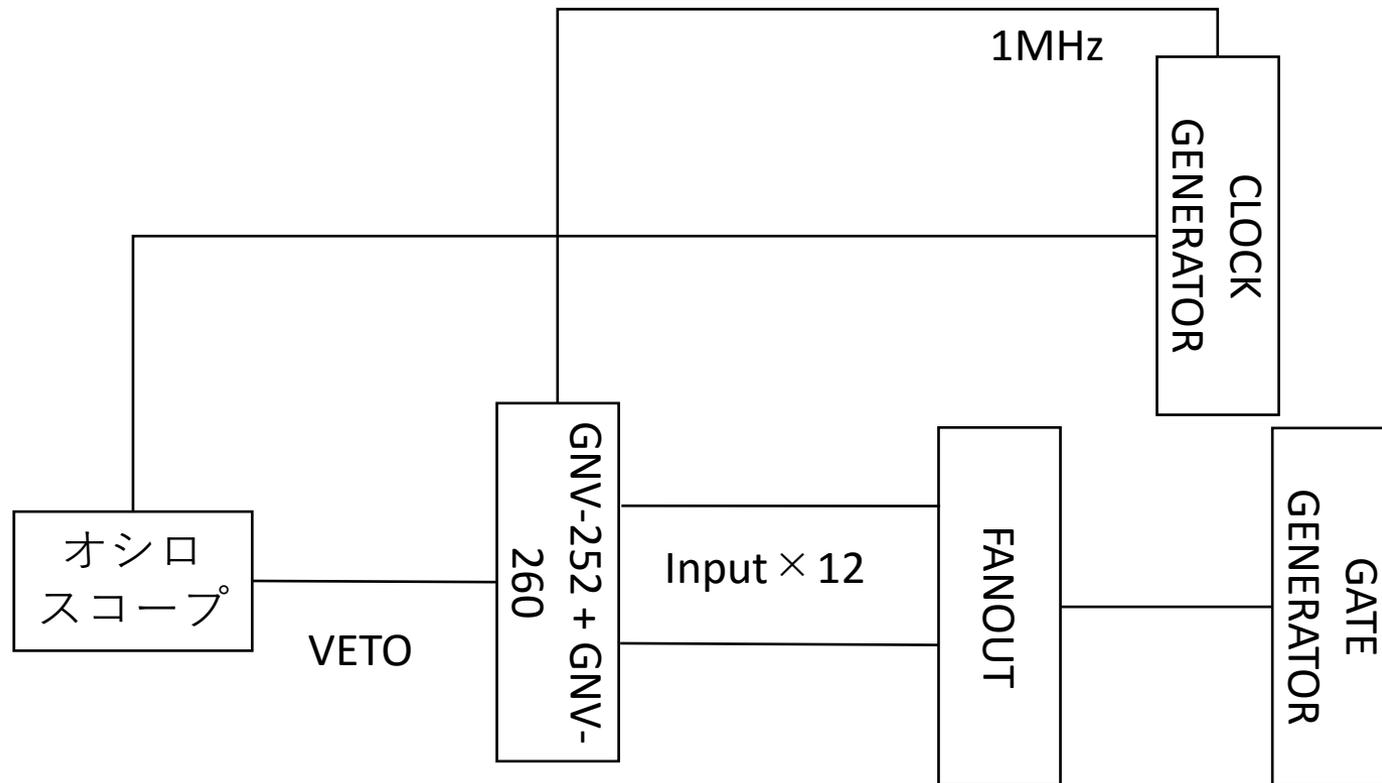
- Verilogでロジックを作りシミュレーションを行った。
- 条件は次の通り
  - 入力数=5の時、5clockの長さのvetoを出す。
  - 入力数=11の時、11clockの長さのvetoを出す。



この部分もinput:5だが一瞬だけなのでvetoは出ていない

# FPGAでの動作

- 次に実際にFPGAに書き込んで動作させた。
- セットアップ

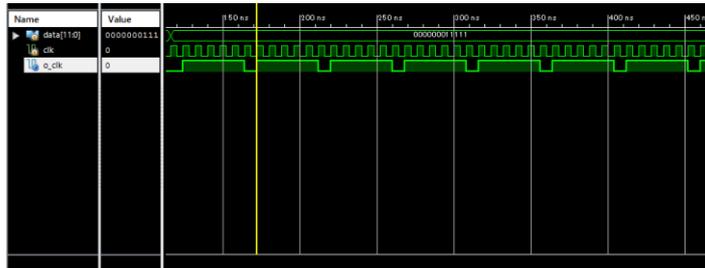


# 実際の動作

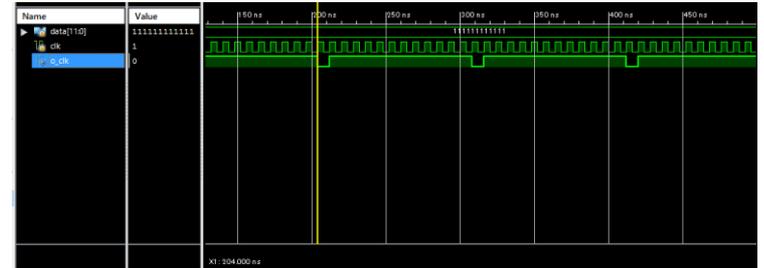
- 動作条件：
  - 入力数=5の時、5clockの長さのvetoを出す。
  - 入力数=12の時、12clockの長さのvetoを出す。

シミュレーション

## Input:5



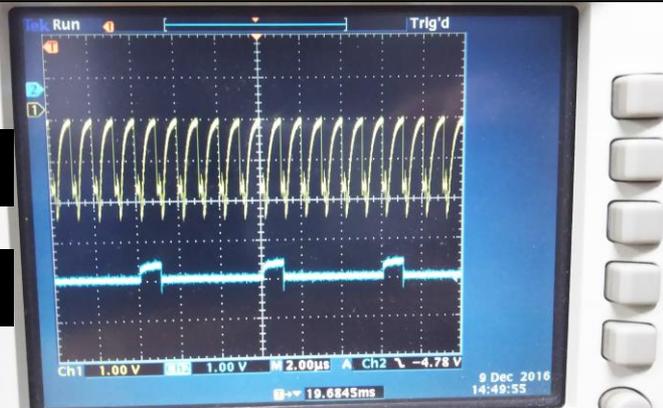
## Input:12



FPGA の出力

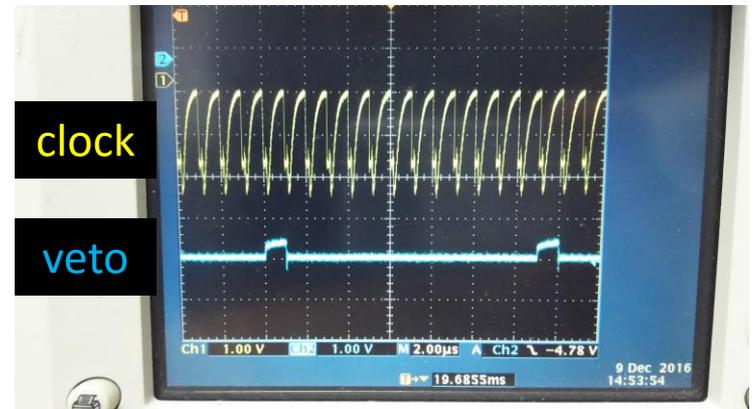
clock

veto



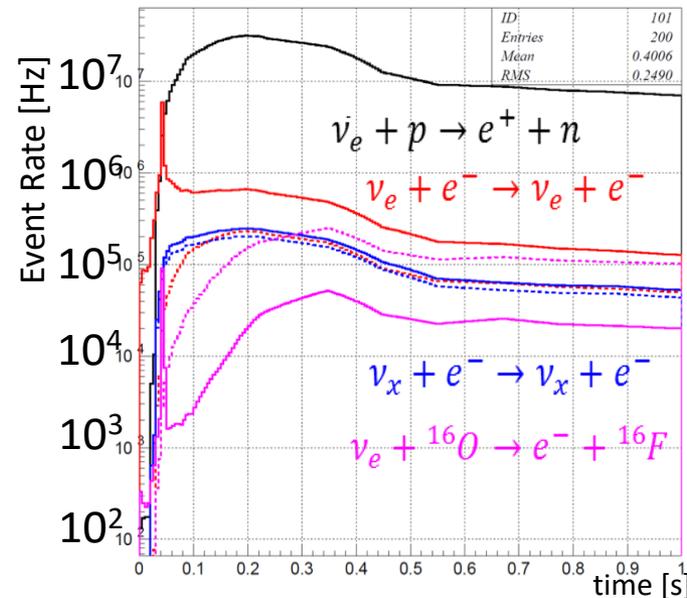
clock

veto



# DAQの評価

- 現在、現行と新DAQを評価する手法も開発中
- 現実のSNのイベントを再現するために専用のモジュールを使ってランダムなパルスでSKのタンク内のLEDを光らせる。(random trigger)
- 使用モジュール:NDT6800D
  - 様々な物理イベントを再現することができるモジュール
  - これを使い超新星爆発のイベントの時間分布を再現する。

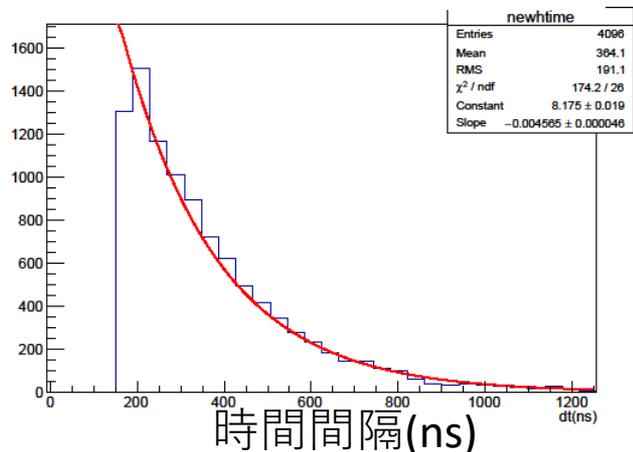


ベテルギウスが爆発したときのイベントレートの変化

# NDT6800Dの性能確認

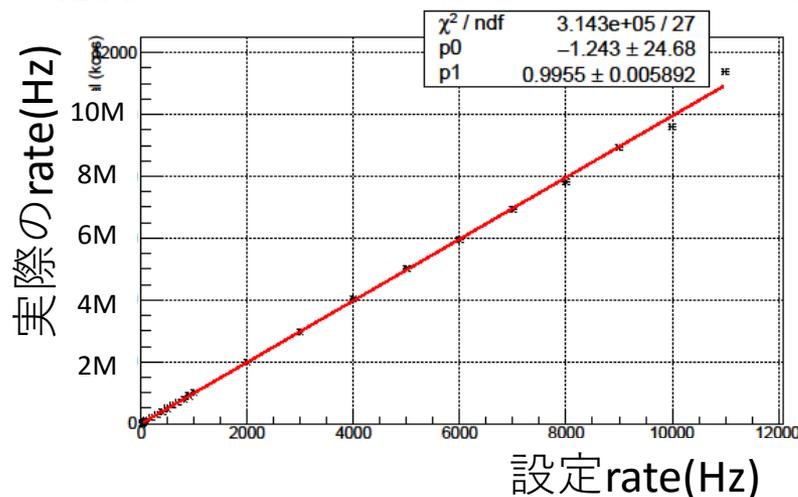
- ランダムにパルスを発生させることができる。

NDT6800Dで発生させたランダムなパルスの発生間隔の分布 (平均rateを5MHzに設定)



- 平均5MHzのポアソン分布に従うパルスを出力して、その2つのパルス間の時間間隔のヒストグラム
- 指数関数でフィッティングすると平均rateは4.565MHz

- 速度はSNバースト程のレートは出ない。



- 一定間隔のパルスを発生させたところ最大レートは11MHz
  - SNバーストは最大で60MHz程度

# これからの予定（計画）

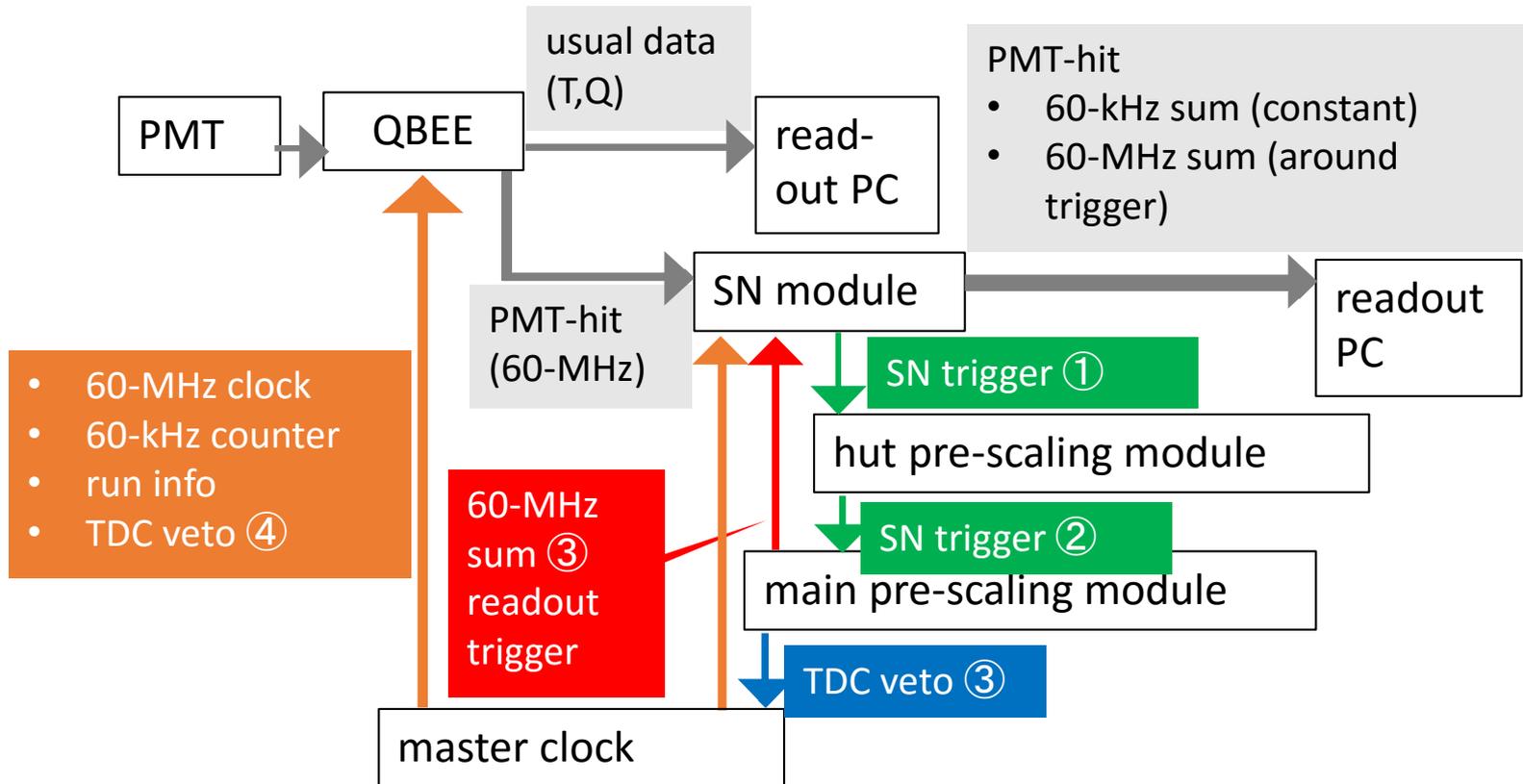
- 3月をめどにrandom trigger module のSNバーストの再現できるかのテストを行う。
  - 現在、性能評価中
- 2017年の夏ごろにDAQを完成させる。

# まとめ

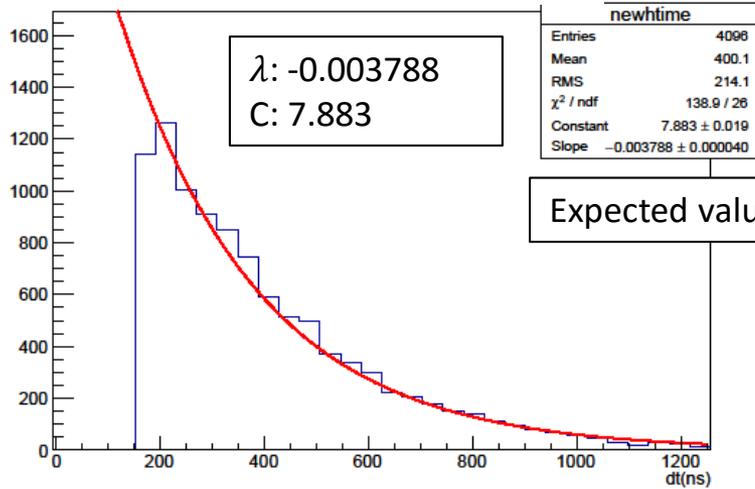
- 超新星爆発はいまだに未解明な部分が多い現象
- 多量のニュートリノを放出するが、観測されたのは、30年前に1度だけ
- 地球の近傍で超新星爆発が起こった場合、SKの既存のDAQは対応できない可能性がある。
- なので、対応できるようなDAQを開発した。
- 評価方法も含めて現在開発中

Back up

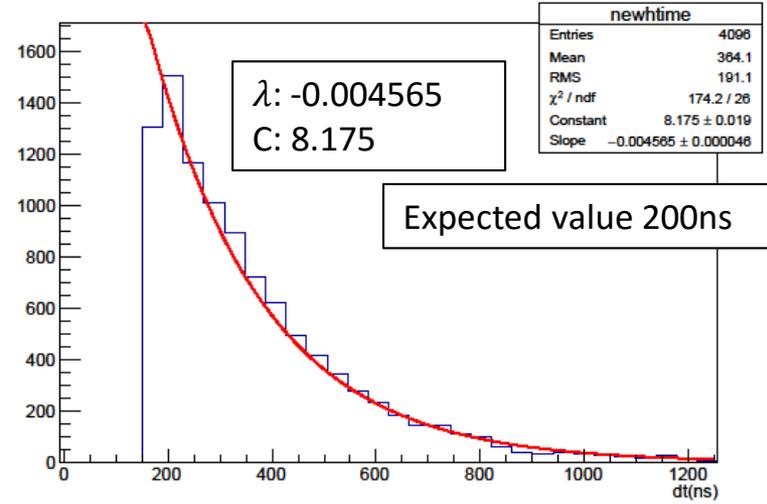
# 新DAQの図



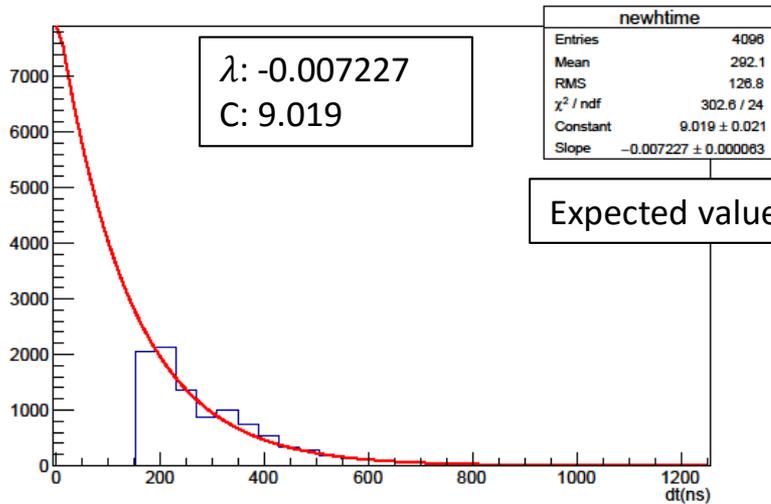
Set rate: 4Mcps



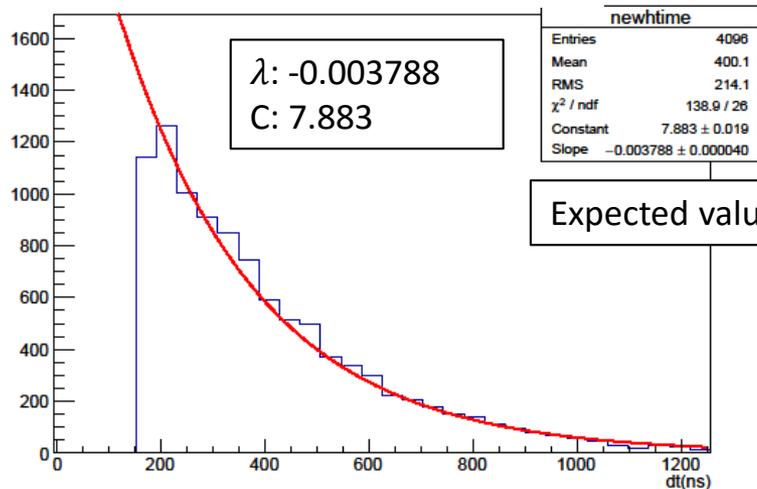
Set rate: 5Mcps



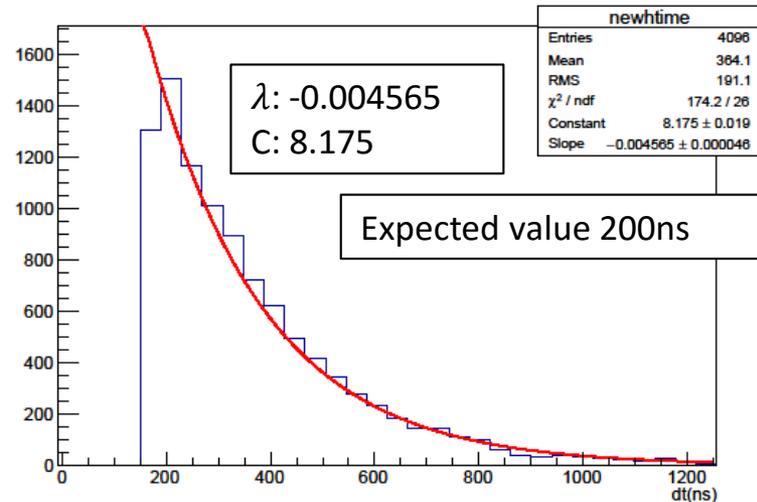
Set rate: 10Mcps



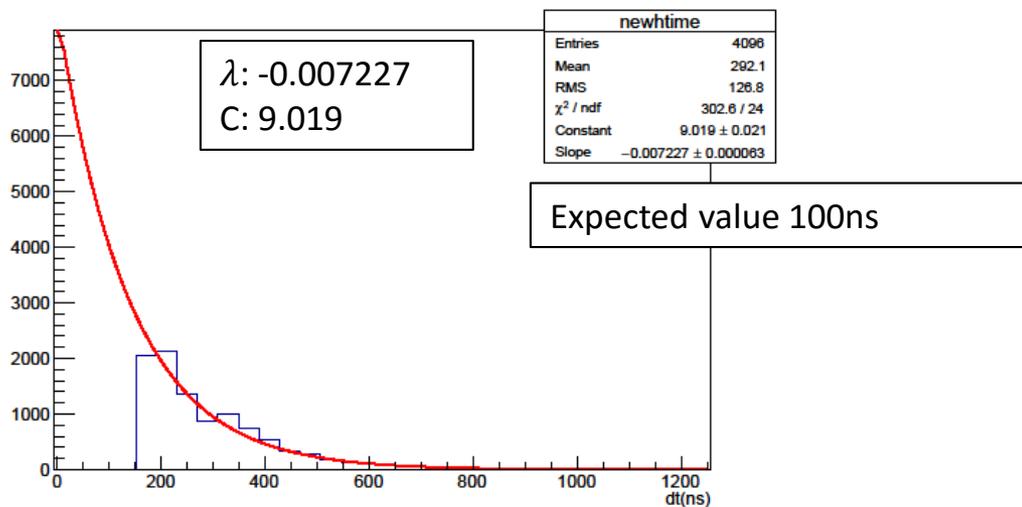
Set rate: 4Mcps



Set rate: 5Mcps



Set rate: 10Mcps



Set rate(Mcps)	$-\lambda$ (counts/ns)	$-\lambda$ (MHz)
1	$1.056 \times 10^{-3}$	1.056
2	$1.953 \times 10^{-3}$	1.953
3	$2.821 \times 10^{-3}$	2.821
4	$3.788 \times 10^{-3}$	3.788
5	$4.565 \times 10^{-3}$	4.565
10	$7.227 \times 10^{-3}$	7.227

Graph

(counts/ns)

