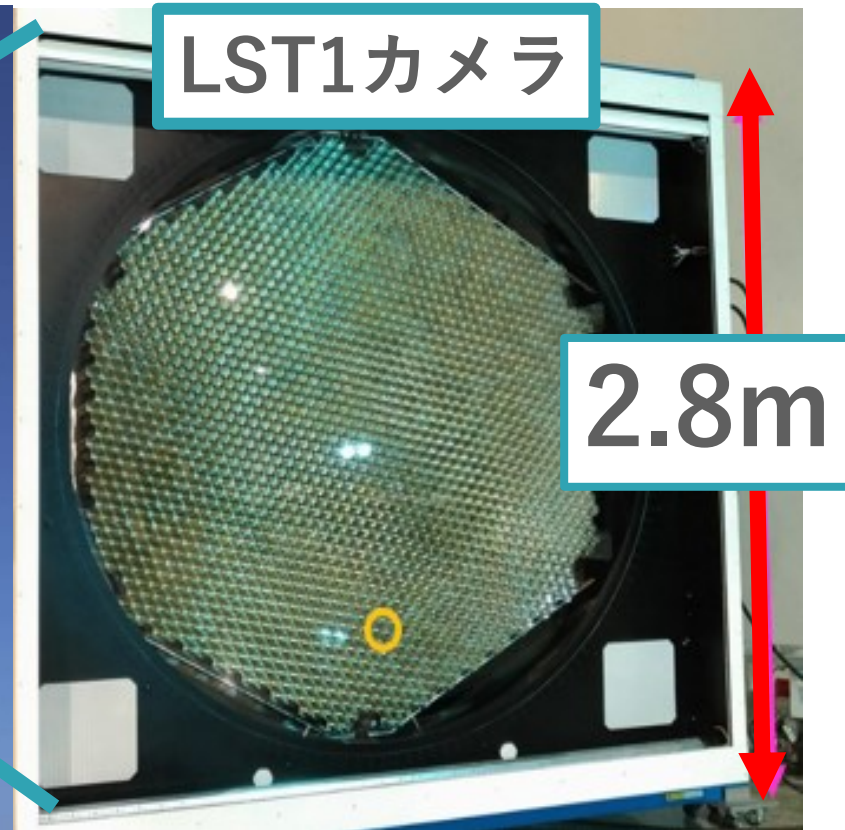
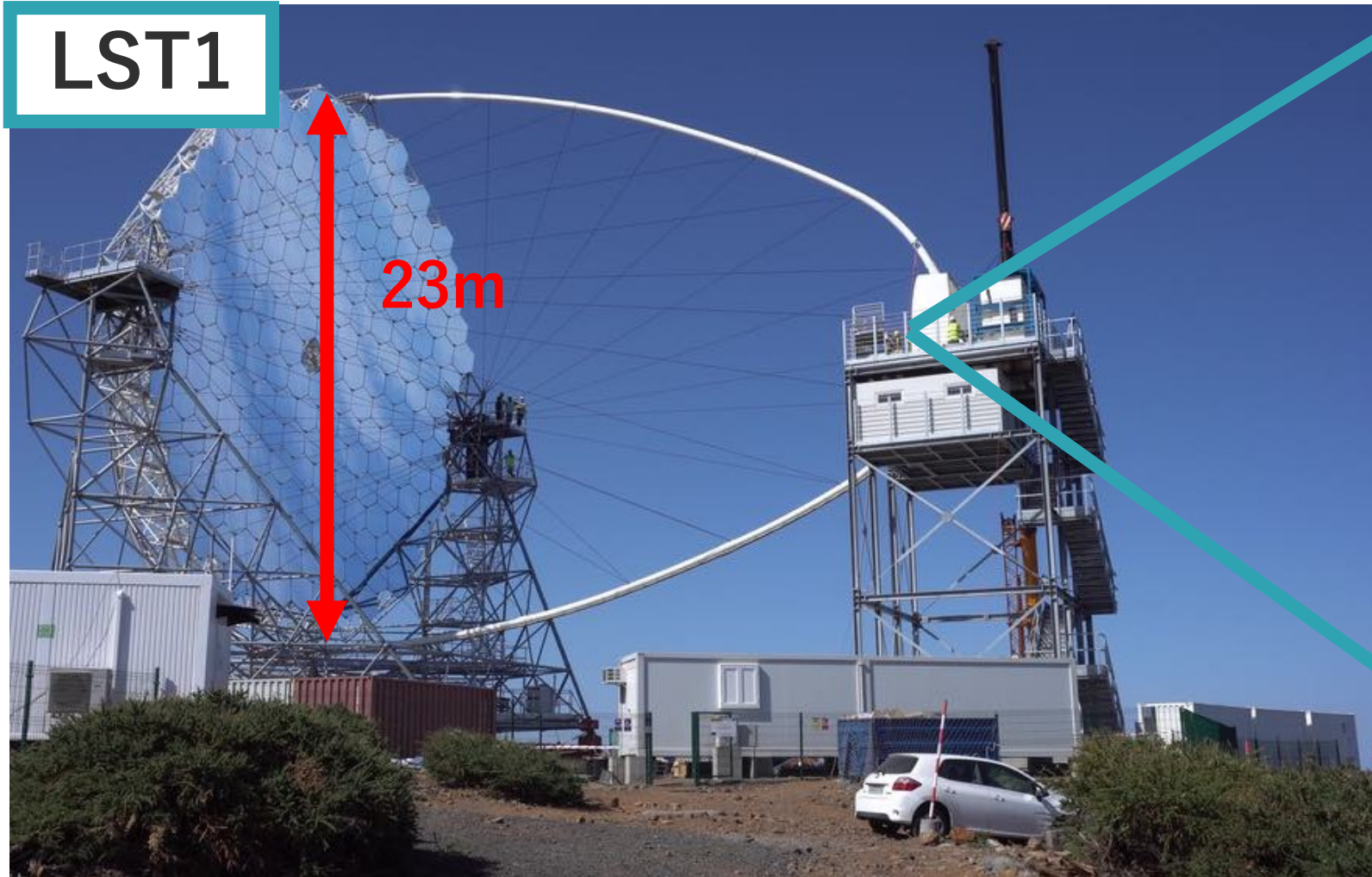


CTA大口径望遠鏡2-4号機における波形記録チップDRS4の サンプリング時間幅較正

服部勇大, 片桐秀明, 吉田龍生 (茨城大学), 猪目祐介, 大岡秀行, 窪秀利, 小林志鳳, 齋藤隆之, 櫻井駿介, 野田浩司, 橋山和明, Daniela Hadasch, Daniel Mazin (東京大学), 岩崎啓, 岡智彦, 寺内健太 (京都大学), 奥村曉, 高橋光成, 田島宏康 (名古屋大学), 折戸玲子 (徳島大学), 阿部和希, 櫛田淳子, 西嶋恭司 (東海大学), 郡司修一, 門叶冬樹, 中森健之 (山形大学), 立石大, 寺田幸功 (埼玉大学), 田中真伸 (KEK), 溝手雅也, 山本常夏 (甲南大学), 手嶋政廣, 野崎誠也 (マックスプランク物理学研究所),
他 CTA-Japan Consortium

CTA大口徑望遠鏡(LST)

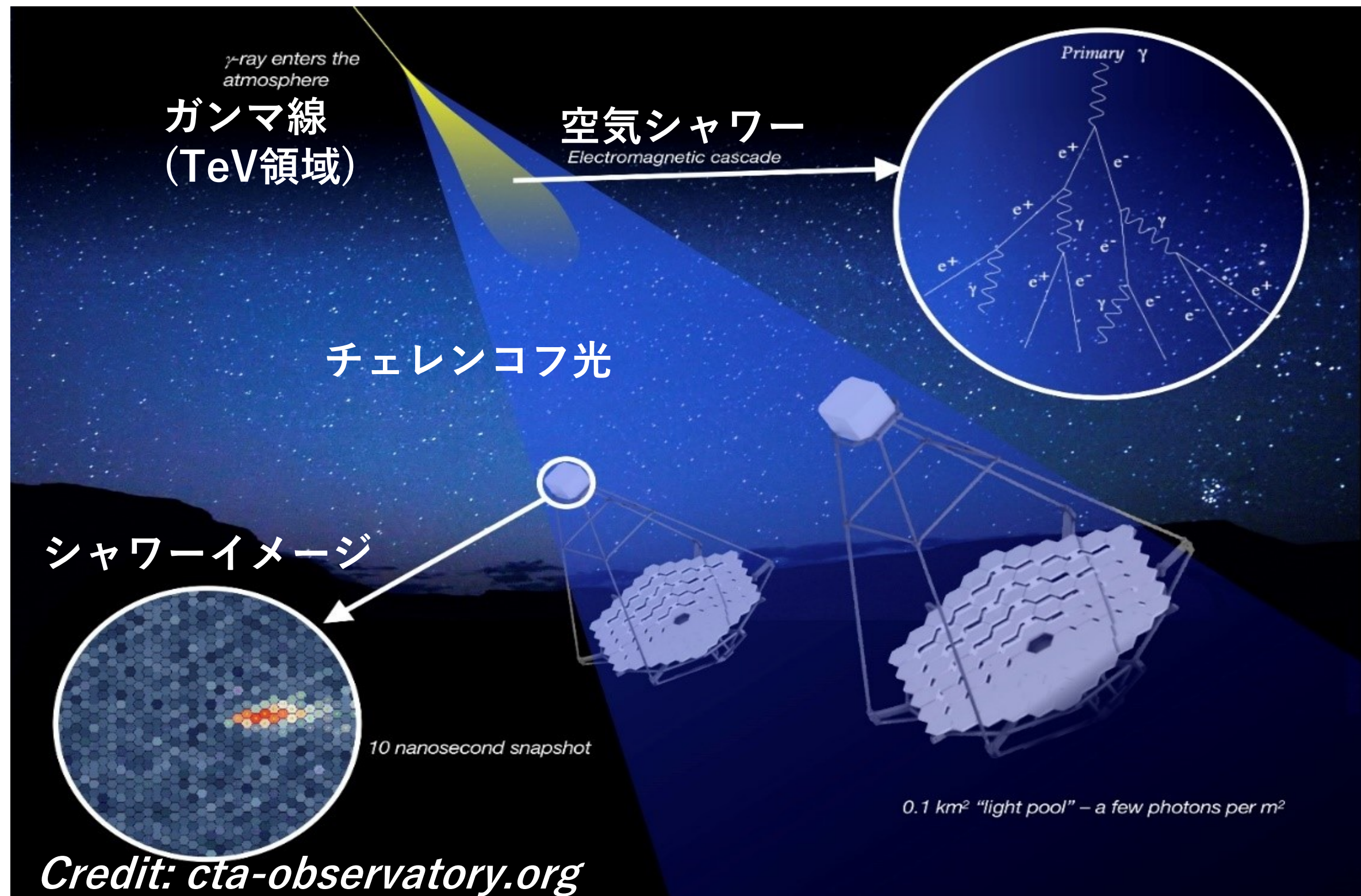


1855本の光電子増倍管
で構成されたカメラ



- エネルギー帯域:20 GeV-3 TeV
- 20秒で180度の旋回により突発天体の観測に対応
- スペインラパルマ島で1号機が稼働中
- LST2-4号機が現在建設準備中

観測原理

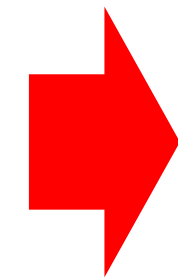
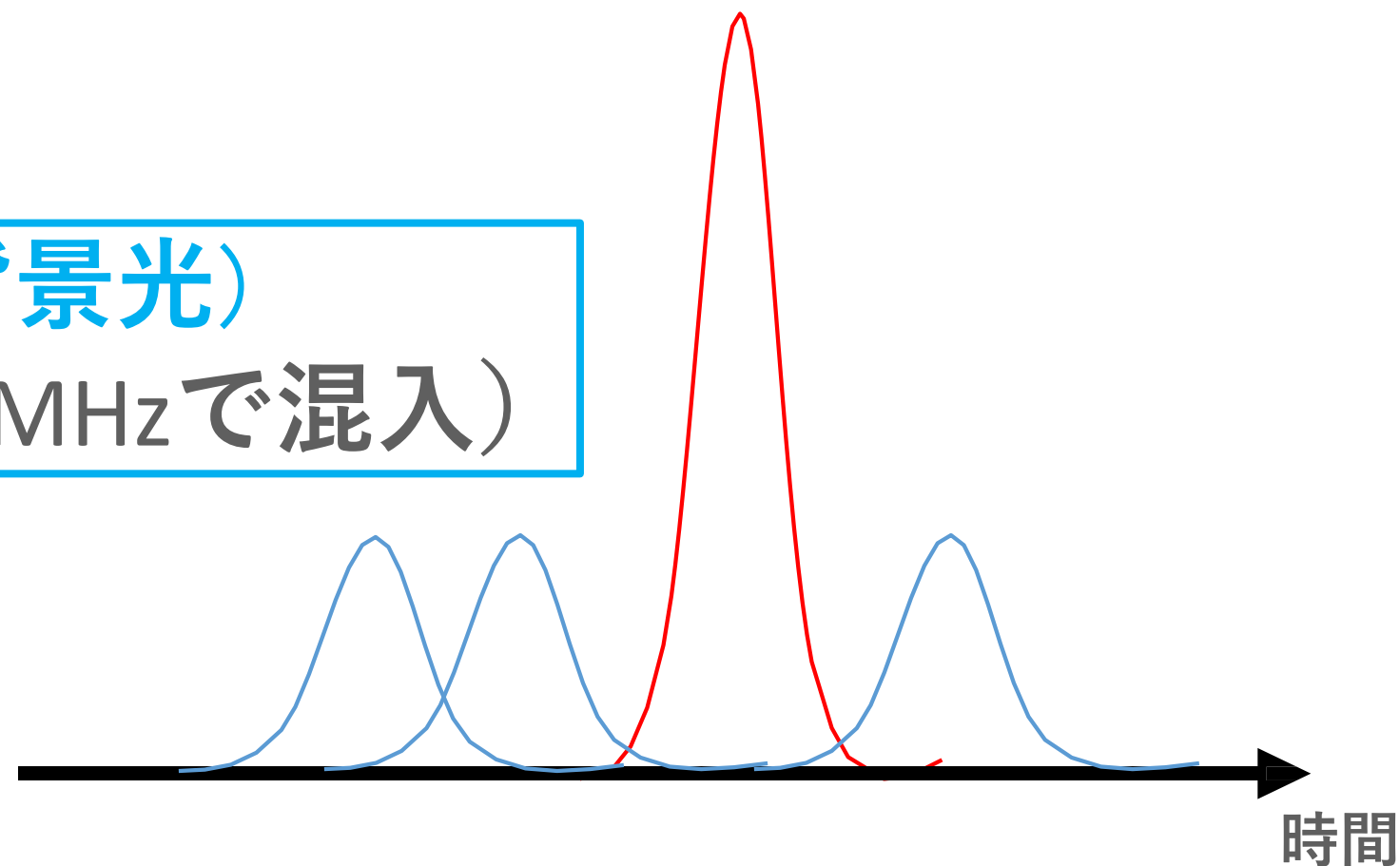


チェレンコフ光を観測するには？

- チェレンコフ光に背景光が混入した信号のイメージ

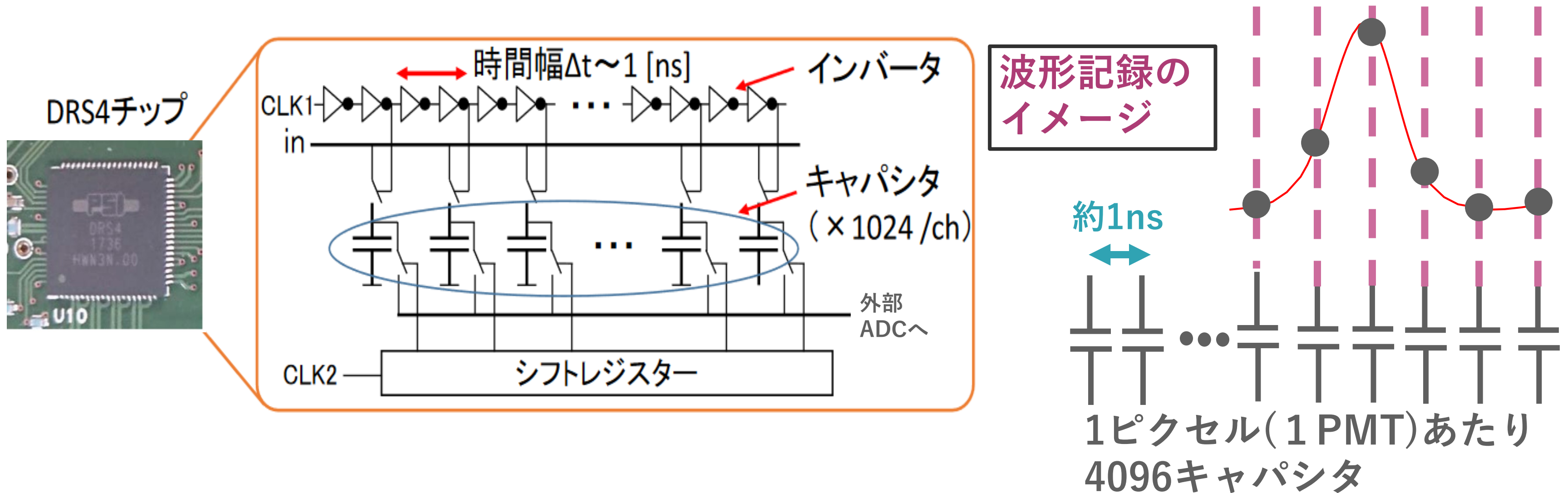
チェレンコフ光
(数nsの信号幅)

夜光(背景光)
(数百MHzで混入)



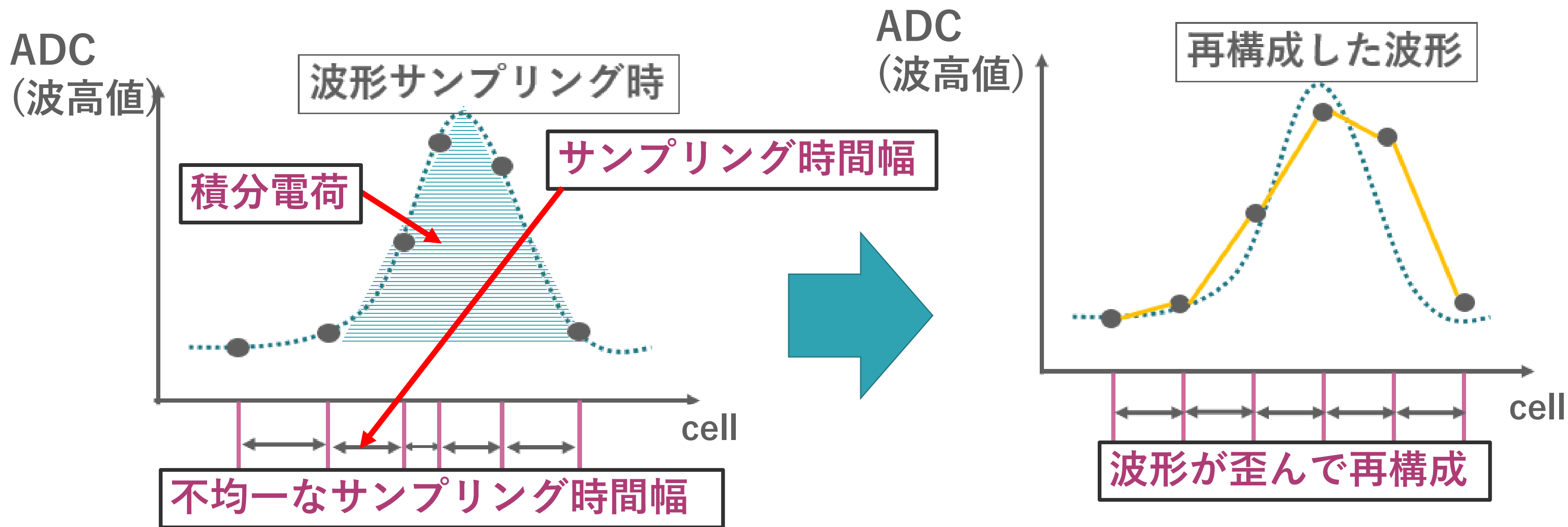
夜光の影響を抑えつつ
チェレンコフ光を捉える
ために、
1ns毎(1GHz)の波形サンプ
リングが可能な読み出し
回路が必要。

Domino Ring Sampler version 4 (DRS4)



- Switched Capacitor Arrayを用いたアナログメモリ
- スイッチを切り替えて次々にキャパシタへ波形情報を電圧値として記録する。
- 1GHzサンプリングにより数百MHzで混入する夜光の影響を抑えられる。

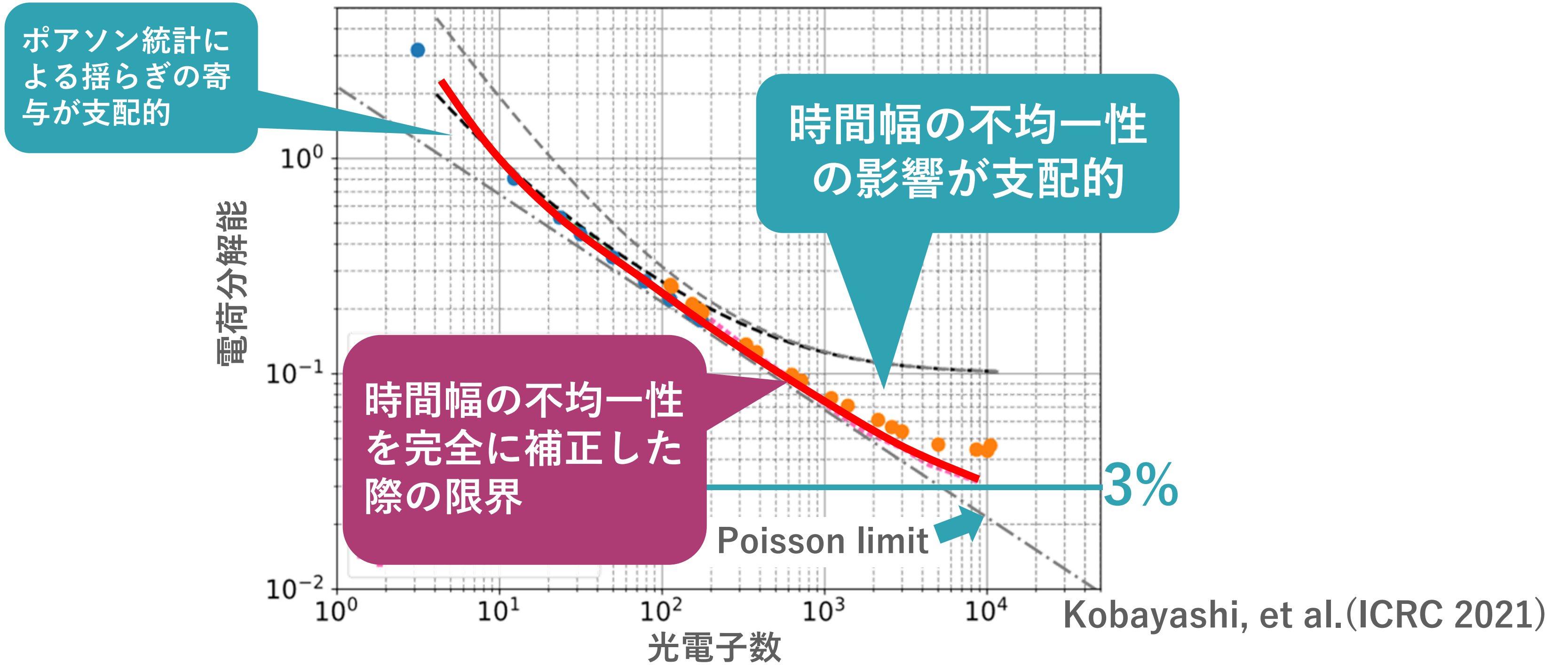
DRS4のサンプリング時間幅の揺らぎ



DRS4の回路に使用されている半導体の個性によりキャパシタ毎に固有の時間幅を持つ。

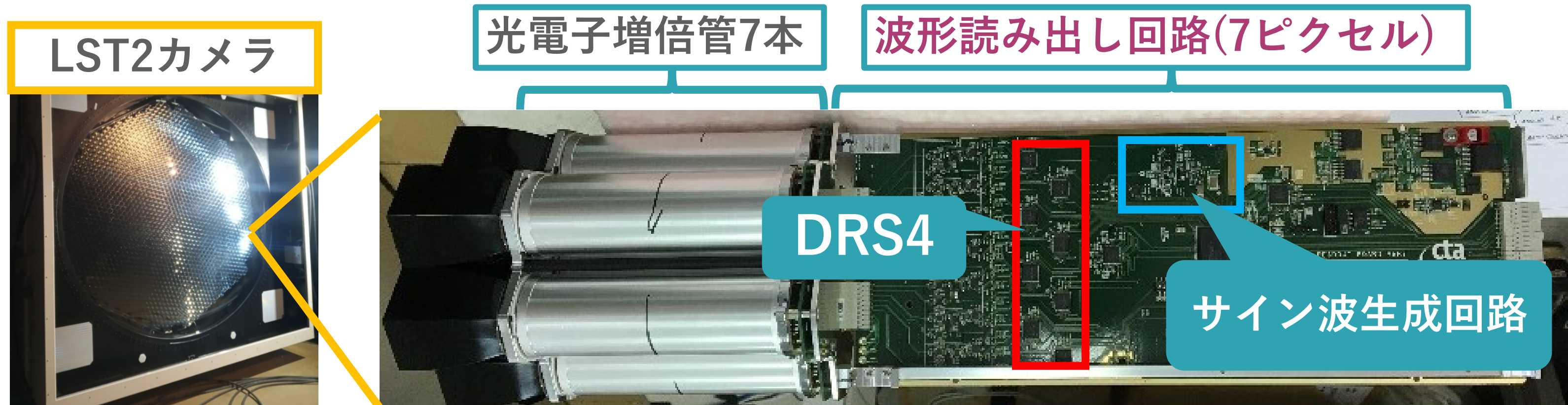
電荷分解能が悪くなり、ガンマ線のエネルギー推定の精度が劣化。

電荷分解能の要求仕様



較正によって電荷分解能を限界付近の**3%以下**に抑え、性能の最大化を図りたい。

LST2-4号機の波形読み出し回路



サイン波生成回路

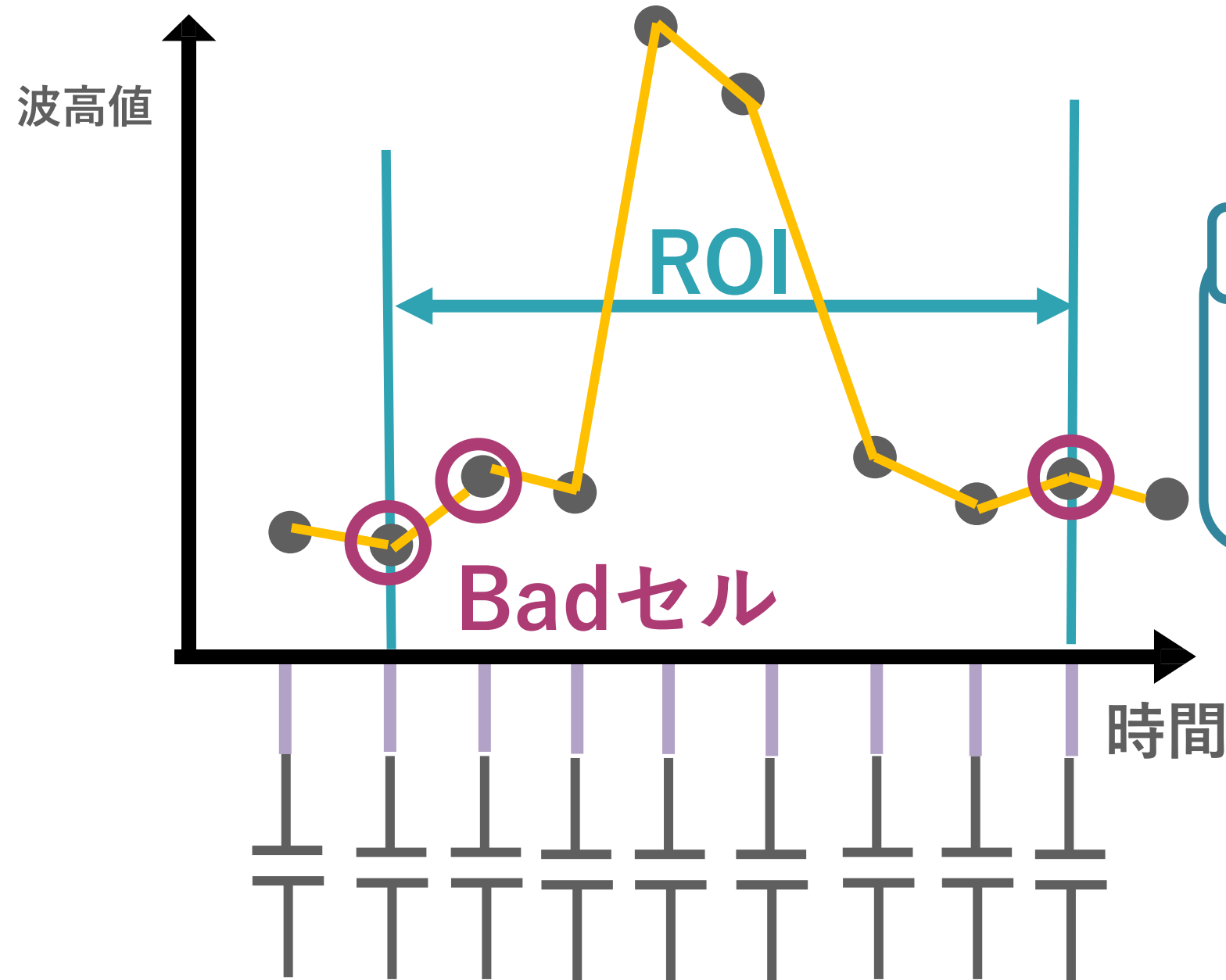
- ・ LST2号機以降の波形読み出し回路で追加
- ・ 時間幅較正用サイン波をDRS4に入力可能

LST1では・・・

2021年の天文学会で野上がLST1でテストパルスでの時間幅較正発表済み

ROI (Region of Interest)

ROIのイメージ



LSTではデータ取得の際にはデータ量を抑えるためにセルの数(ROI)を指定して読み出す。

※ROIの最初と最後のセルはBadセルになり解析では除かれる。

先行研究

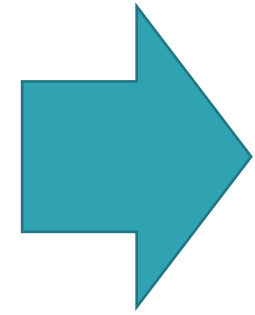
2017天文学会(野崎):サイン波での時間幅較正手法を確立

2021天文学会(野上):実験室でROI=100のサイン波での較正

LSTではROI=40としており容易に変更できない。
実際の観測のROI=40でのサイン波による較正を実現する必要がある。

本研究の目的

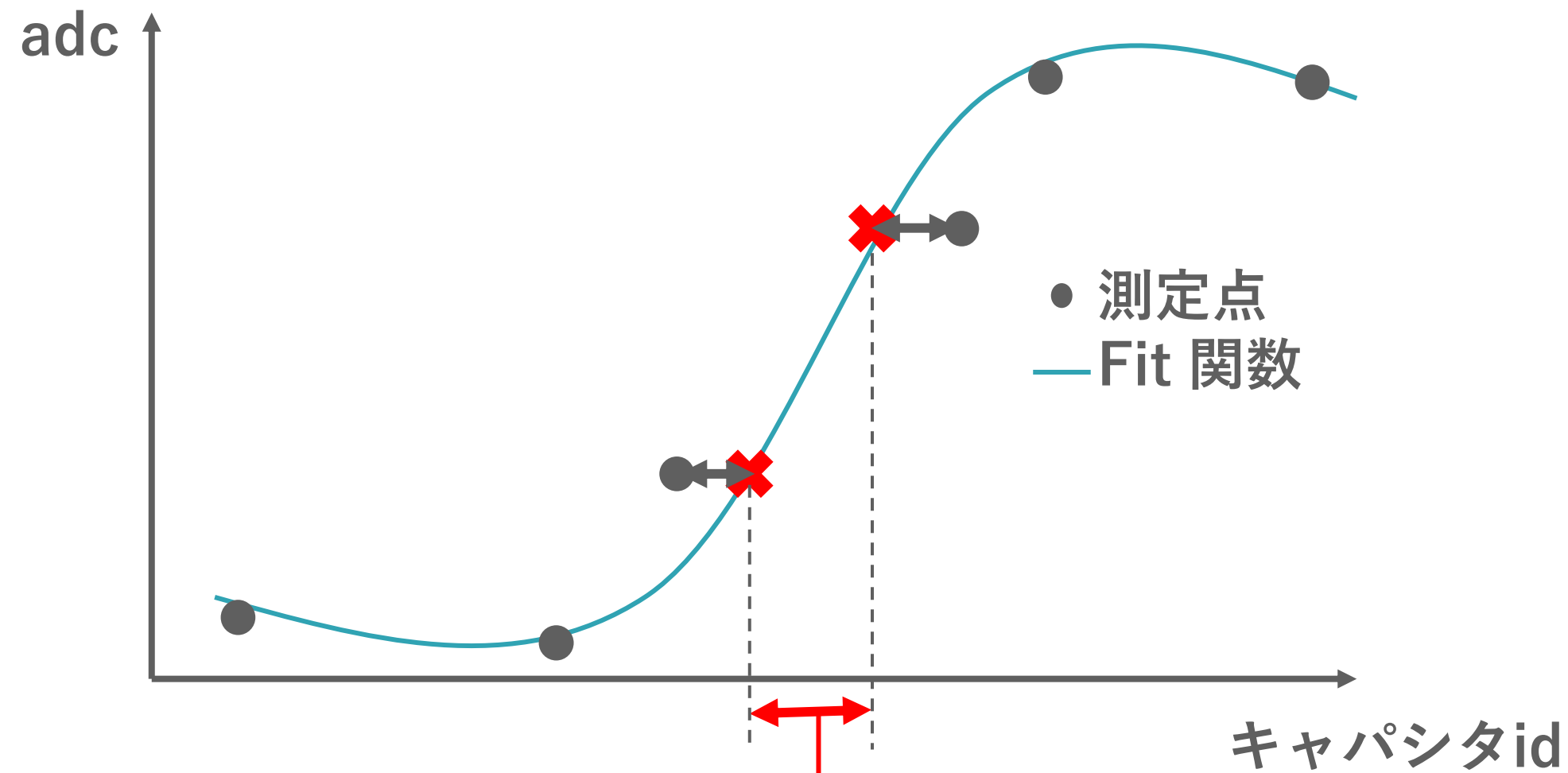
■ LST2-4号機での時間幅較正手法を確立すること



- ・ 較正後の電荷分解能をLSTの要求仕様である**3%**より十分小さく抑える
- ・ 実際の観測の**ROI=40のサイン波**で時間幅較正を行う。

生成サイン波によるサンプリング時間幅較正

サイン波によるサンプリング時間幅較正の模式図



較正後の時間幅

①サイン波をDRS4へ1万回入力し、測定点からサイン波でフィッティングを行う。

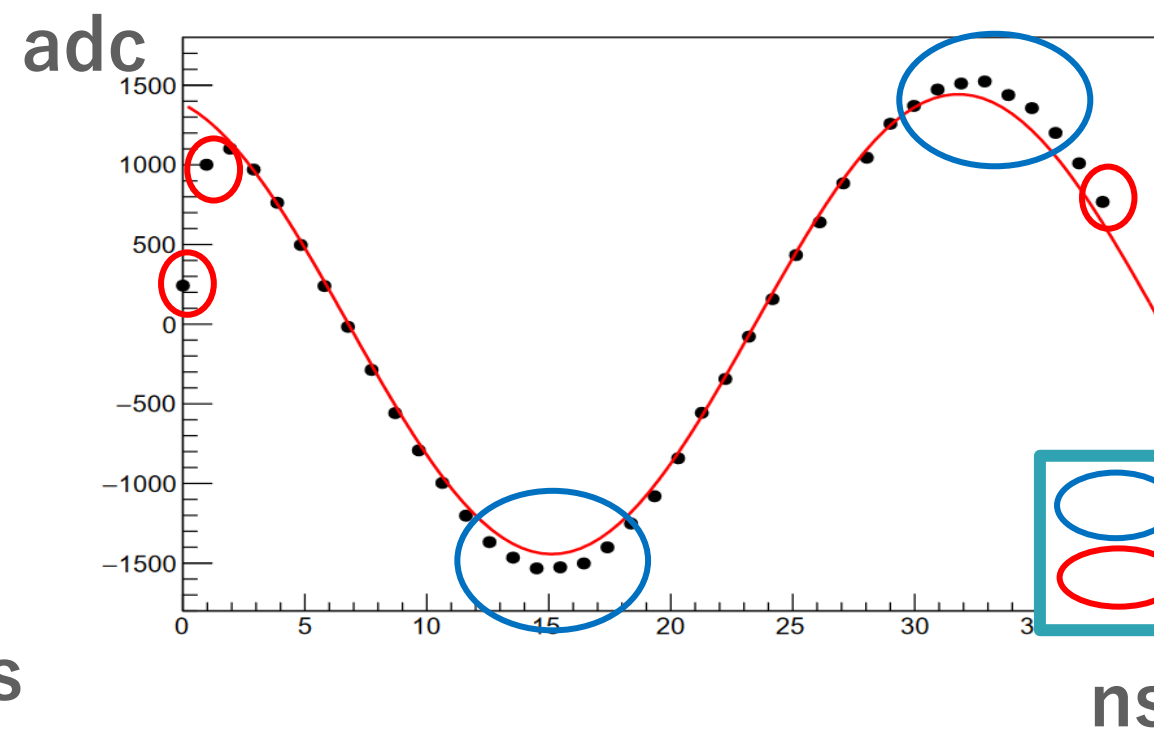
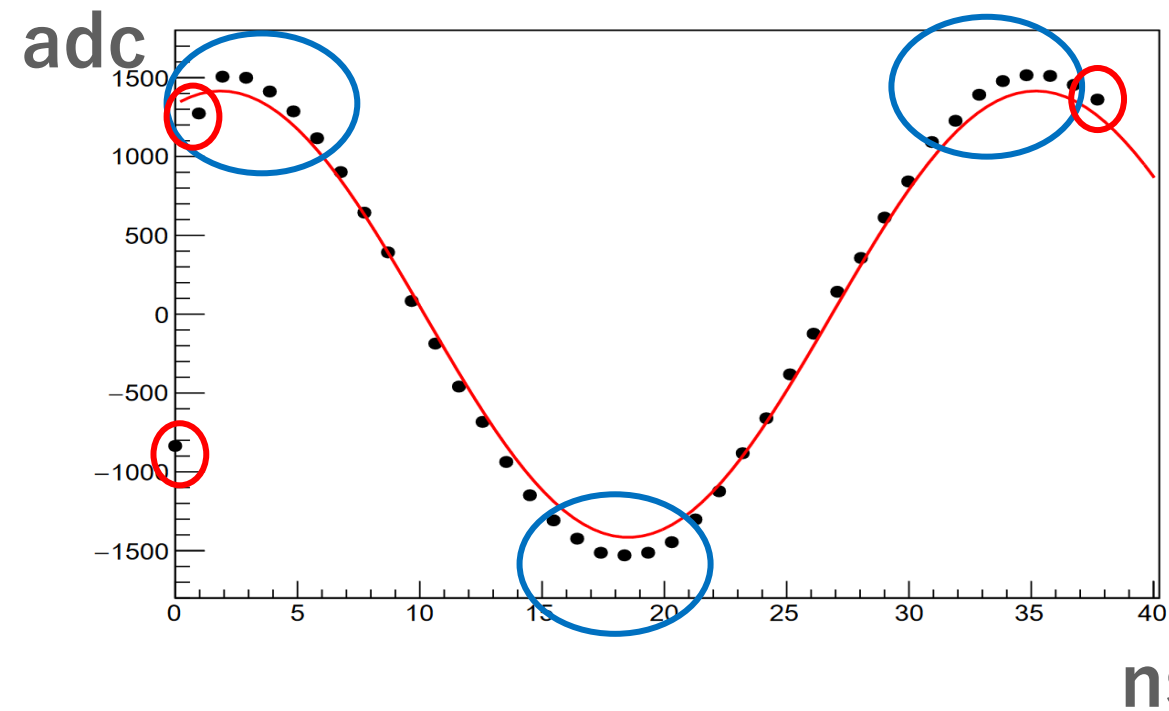
②測定点とフィットした曲線との時間差から時間幅を求める。



求めた時間幅をキャパシタ毎に平均する

ROI=40でのサイン波フィッティング

30MHzサイン波でフィッティングした一例



○ フィット関数とのズレが大きいデータ点
○ Badセル(最初2セルと最後1セル)

波高が高い箇所で
フィット関数とズレ
てしまう

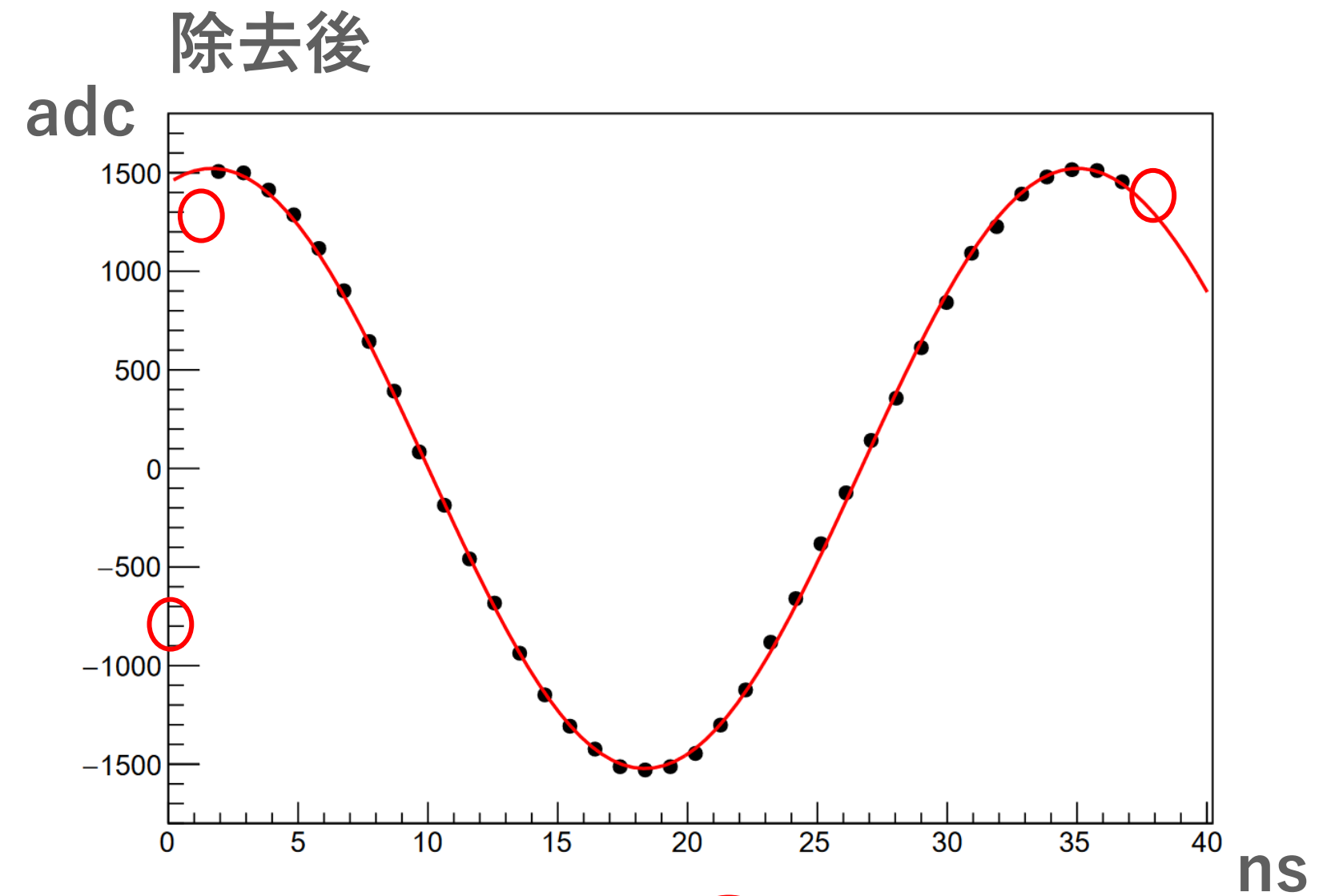
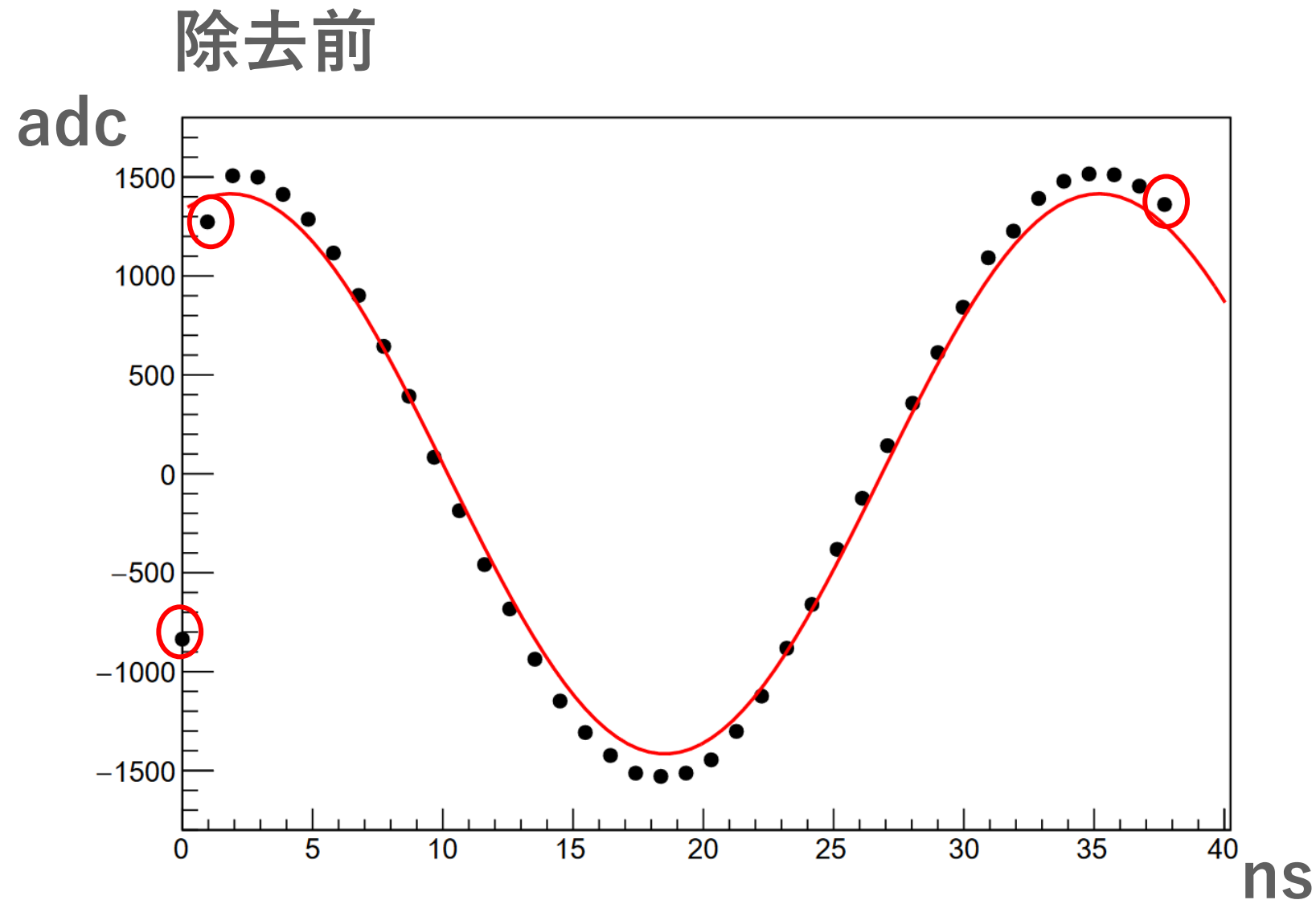
サイン波の高周波成分の影響を調べ
たが高周波成分は見られず

フィット方法の見直し

除かれるべきBadセルが使用
されていた

Badセルを除いて
フィットし直す

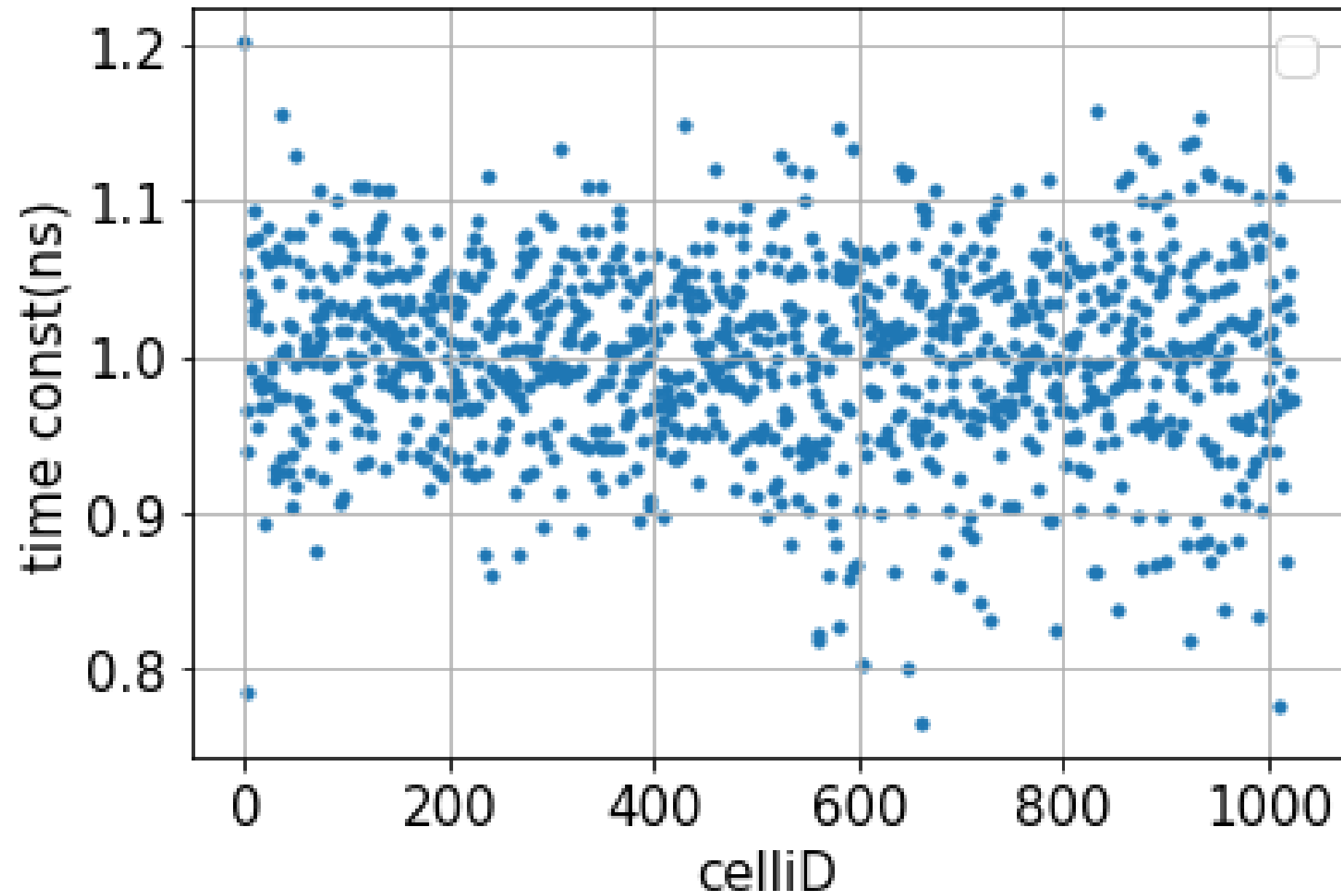
Badセルを除去して再フィット



○ 除去したBadセル

- 波高の高い部分のズレが解消されフィッティングが改善された。

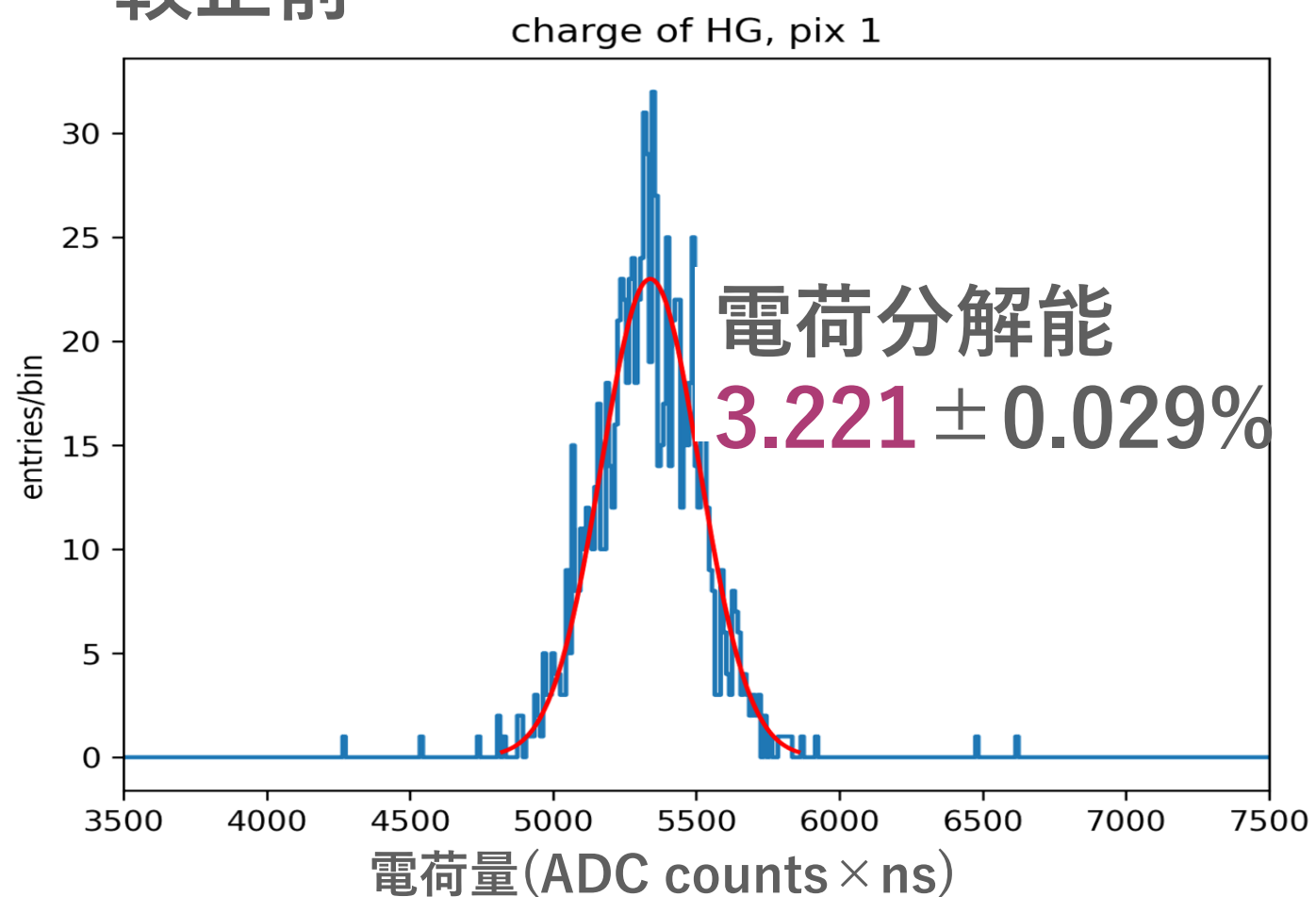
校正後の時間幅



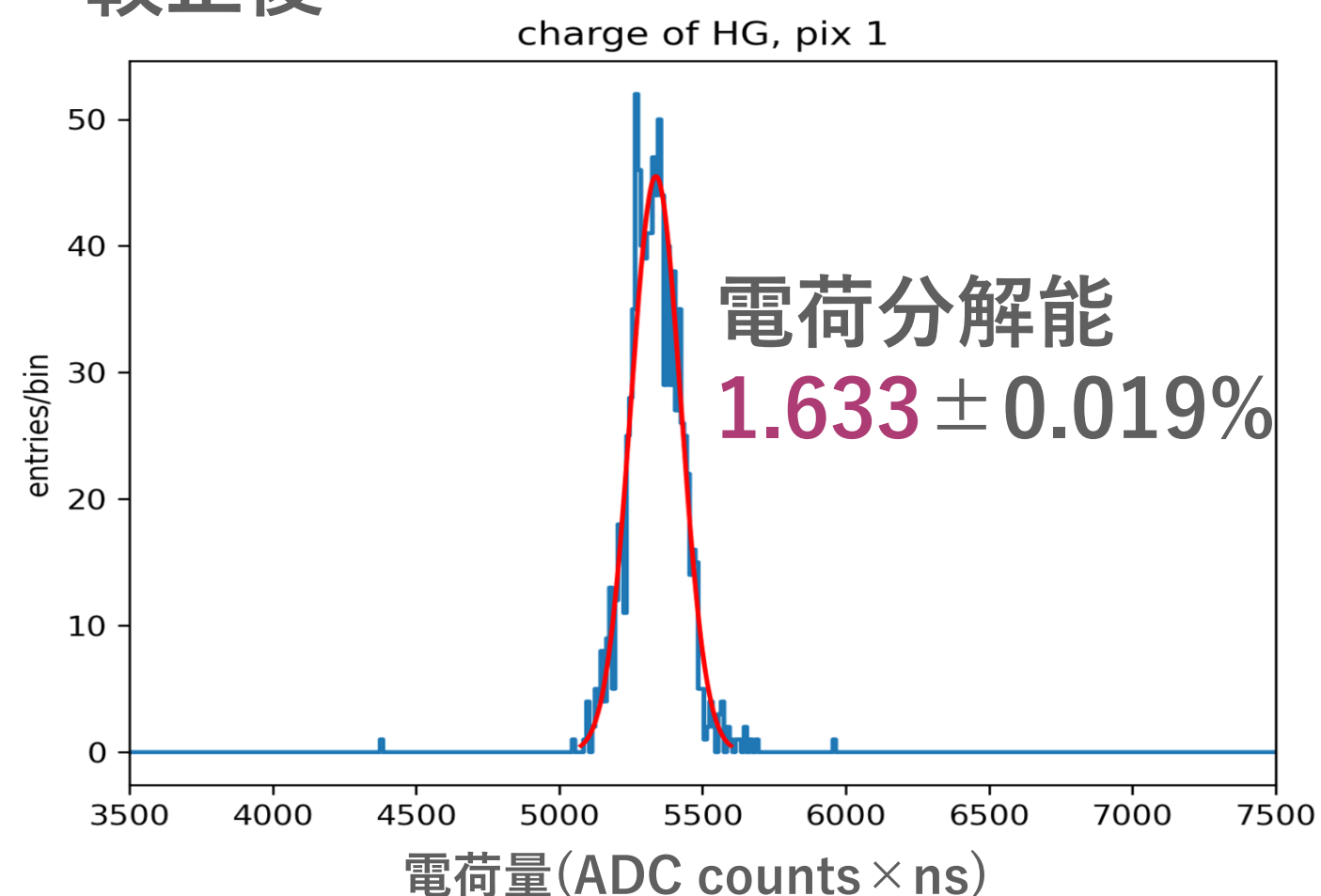
- 平均:1.000 ns
- 標準偏差:0.061 ns

時間幅較正前後の電荷分解能

較正前



較正後

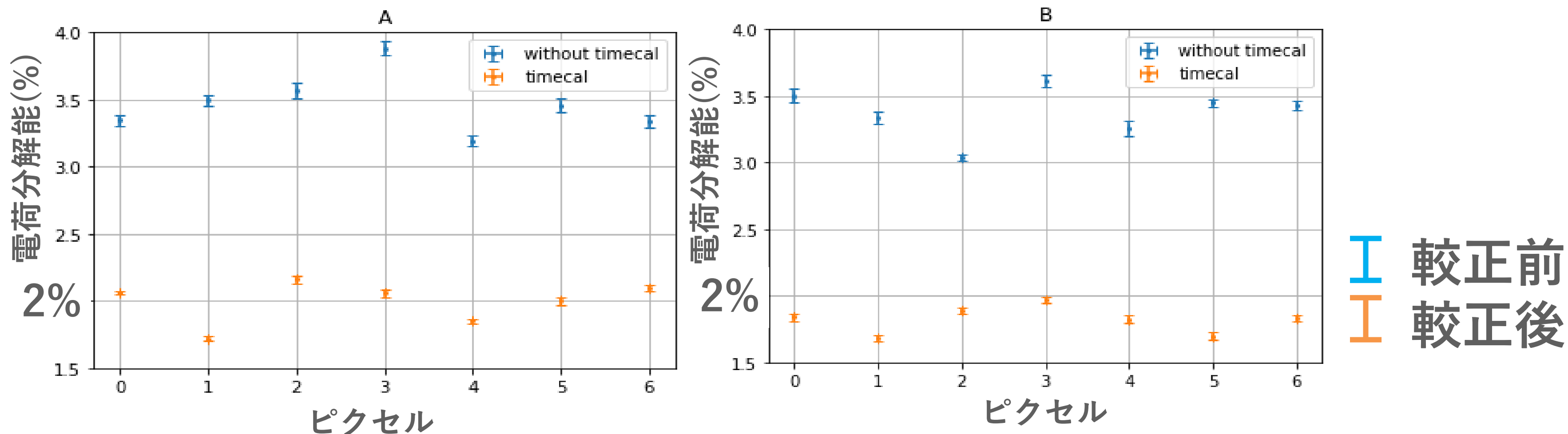


電気パルス
(ポアソン揺らぎ無し)

- 時間幅較正後に電荷分解能が統計的に有意に約1.5ポイント改善した。

ピクセル毎の較正前後の電荷分解能

二枚の読み出し回路(A,B)毎、ピクセル毎の較正前後の電荷分解能



- どのピクセルでも較正後に電荷分解能が約1.5ポイント改善し電荷分解能を平均で約2%まで抑えることができた。
- 本研究の目標である3%より十分小さく抑えることを達成し、LST2-4号機での時間幅の較正手法を確立した。

まとめと今後

- 実際のデータ取得の仕様に合わせてサイン波での時間幅較正を行い、較正後の電荷分解能が2%と、LSTの要求仕様の3%以下に抑えるという目標を達成した。
 - LST2-4号機でのサンプリング時間幅の較正手法を確立した。
- 実験室用の時間幅較正プログラムをCTAの解析フレームワークに入れ、LST2-4号機での解析で使用する予定。