

CTA 報告 225 : 小口径望遠鏡用 64 チャンネル SiPM の暗電流の安定性試験 (2)

名古屋大学 宇宙地球環境研究所 ^A, 名古屋大学 素粒子宇宙起源研究所 ^B

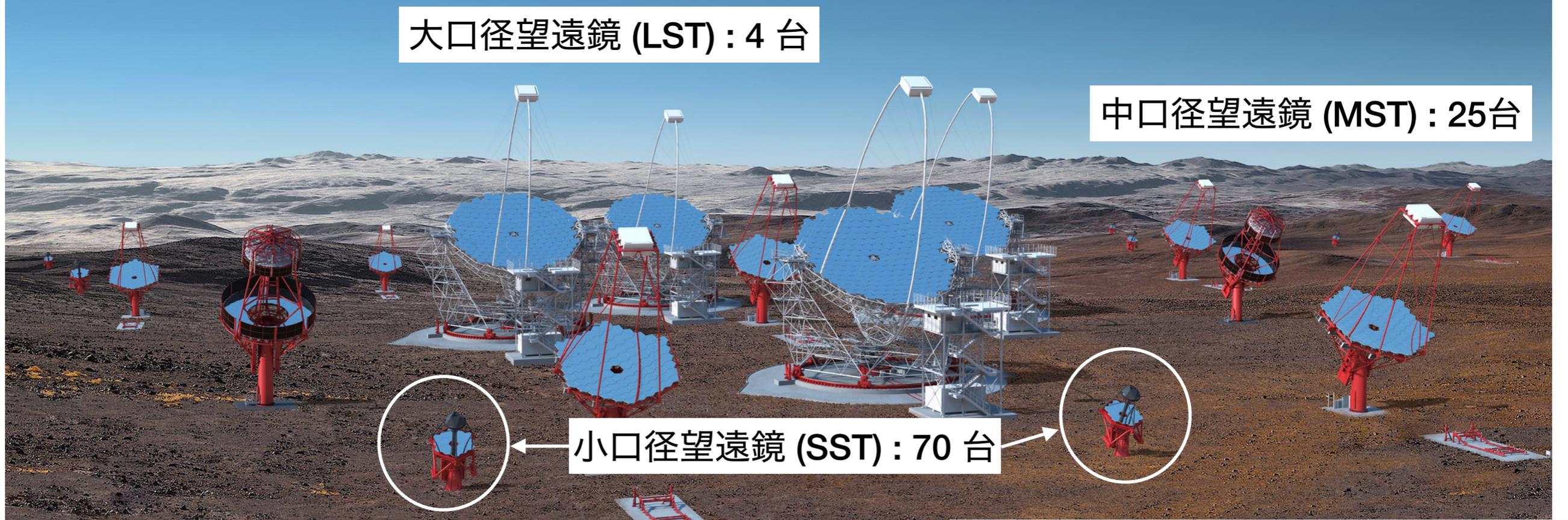
河原崎琉 ^A, 奥村暁 ^{A,B}, 田島宏康 ^{A,B}, 古田和浩 ^A, 他 CTA consortium

日本物理学会第 2024 年春季大会 2024/3/21

Cherenkov Telescope Array (CTA)

- CTA（南サイト）では大中小3種類の望遠鏡を配置する
- 小口径望遠鏡 (Small-Sized Telescope, SST) は到来頻度の少ない1～300 TeVの高エネルギー領域のガンマ線を観測し、70台設置される

CTA 完成予想図

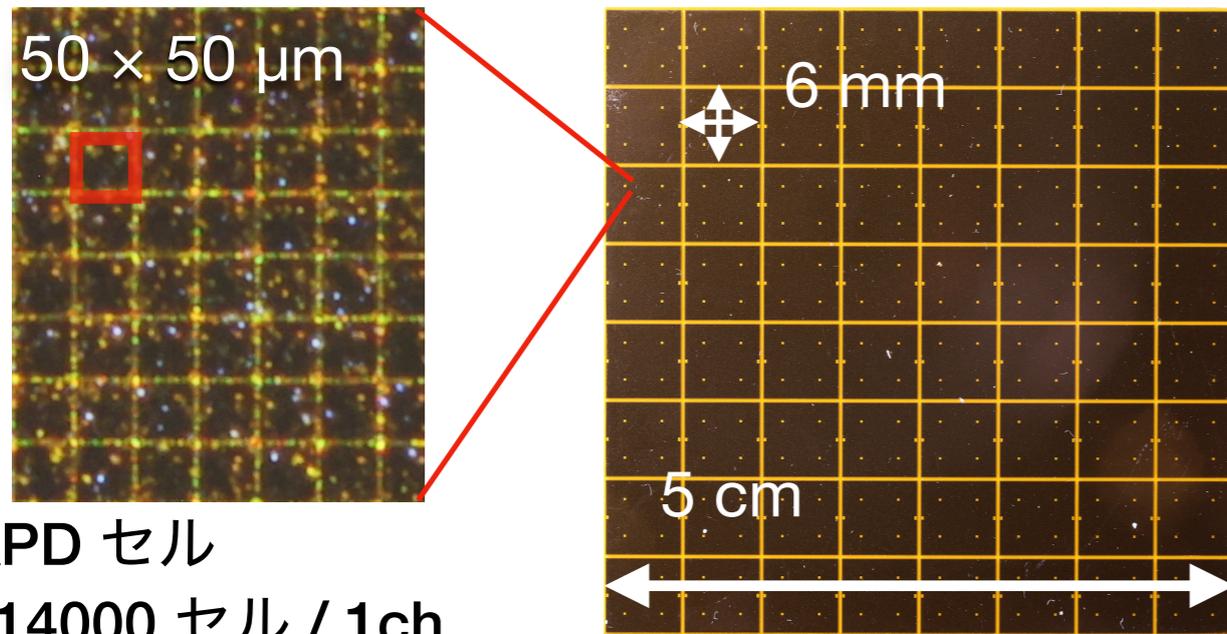


画像提供: Gabriel Pérez Diaz, IAC / Marc-André Besel, CTAO

SiPM を用いた SST の焦点面カメラ

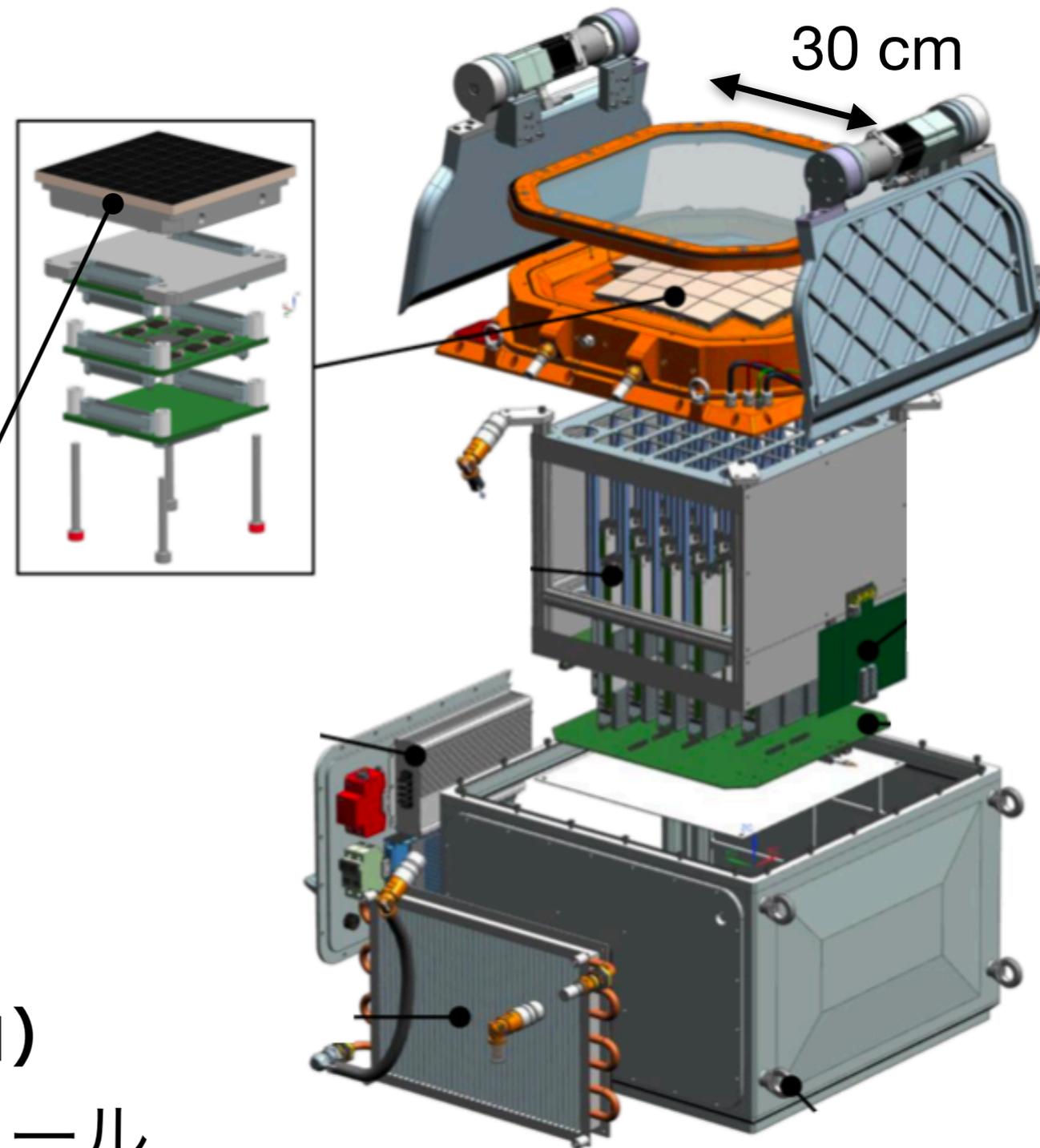
SiPM (半導体光検出器)

- アバランシェ・フォトダイオード (APD) セルを並べた光検出器
- 降伏電圧 (V_{br}) 以上の電圧を印加してガイガーモードで使用する



64 ch SiPM (浜松ホトニクス S14521)

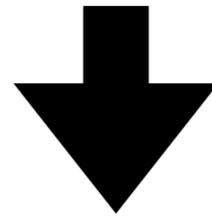
焦点面に 64 ch SiPM を 32 モジュール
並べ 合計 2048 ch を搭載する



本研究の動機と目的

- SST では 10 万 ch 以上の SiPM でチェレンコフ光を観測する
- SiPM の不良時に 64 ch ごとの交換が必要である
- 過去に暗電流が1桁増大した SiPM 個体があった

➡**SiPM の信頼性が重要**



- **SiPM の正常時の暗電流変化が観測に影響を与えないことの確認**
- **初期不良（数日）の有無、長期の不良、その振る舞いの測定**

長期にわたる多チャンネルの暗電流を測定した

測定した SiPM

- SiPMは実際に CTAで使用を予定している「浜松ホトニクス S14521」を使用
- 今後加速劣化試験を想定しているため、 V_{br} の揃っていない不合格品を測定

*暗電流が最も大きい ch を含むモジュール

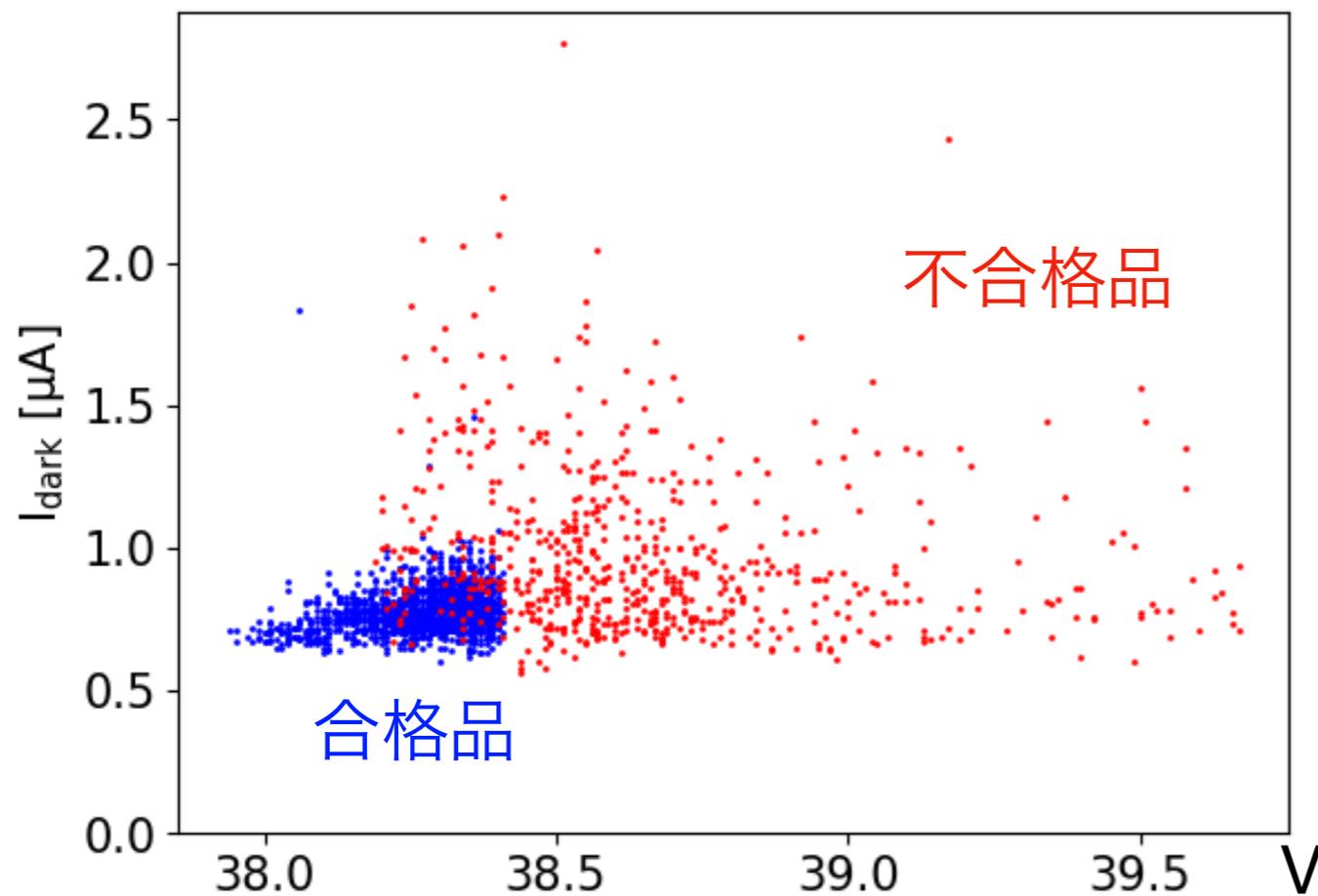
*平均的に暗電流が大きいモジュール

最も不良が起こりそうな



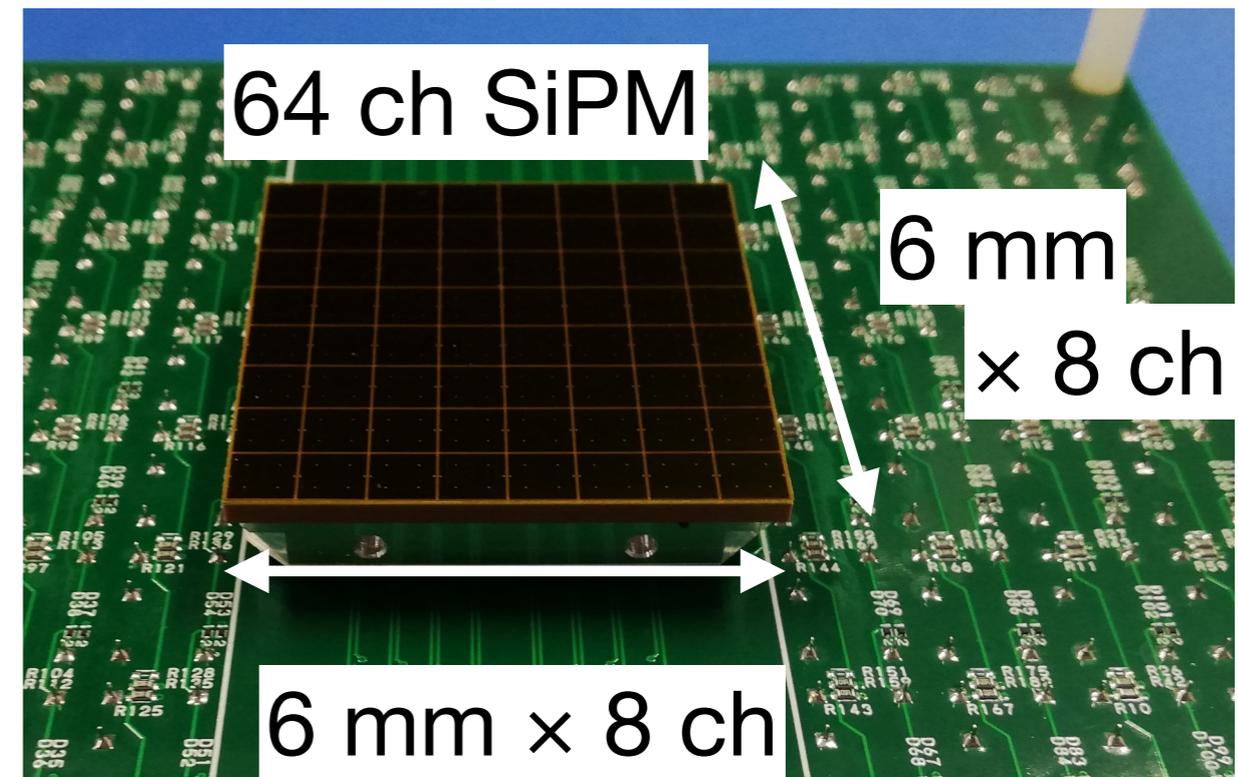
2 モジュール

(※ 本講演の内容は全て不合格品の測定結果である)



合格品と不合格品の V_{br} と暗電流の分布

(浜松ホトニクスは $V_{br} + 3 V$ で試験)



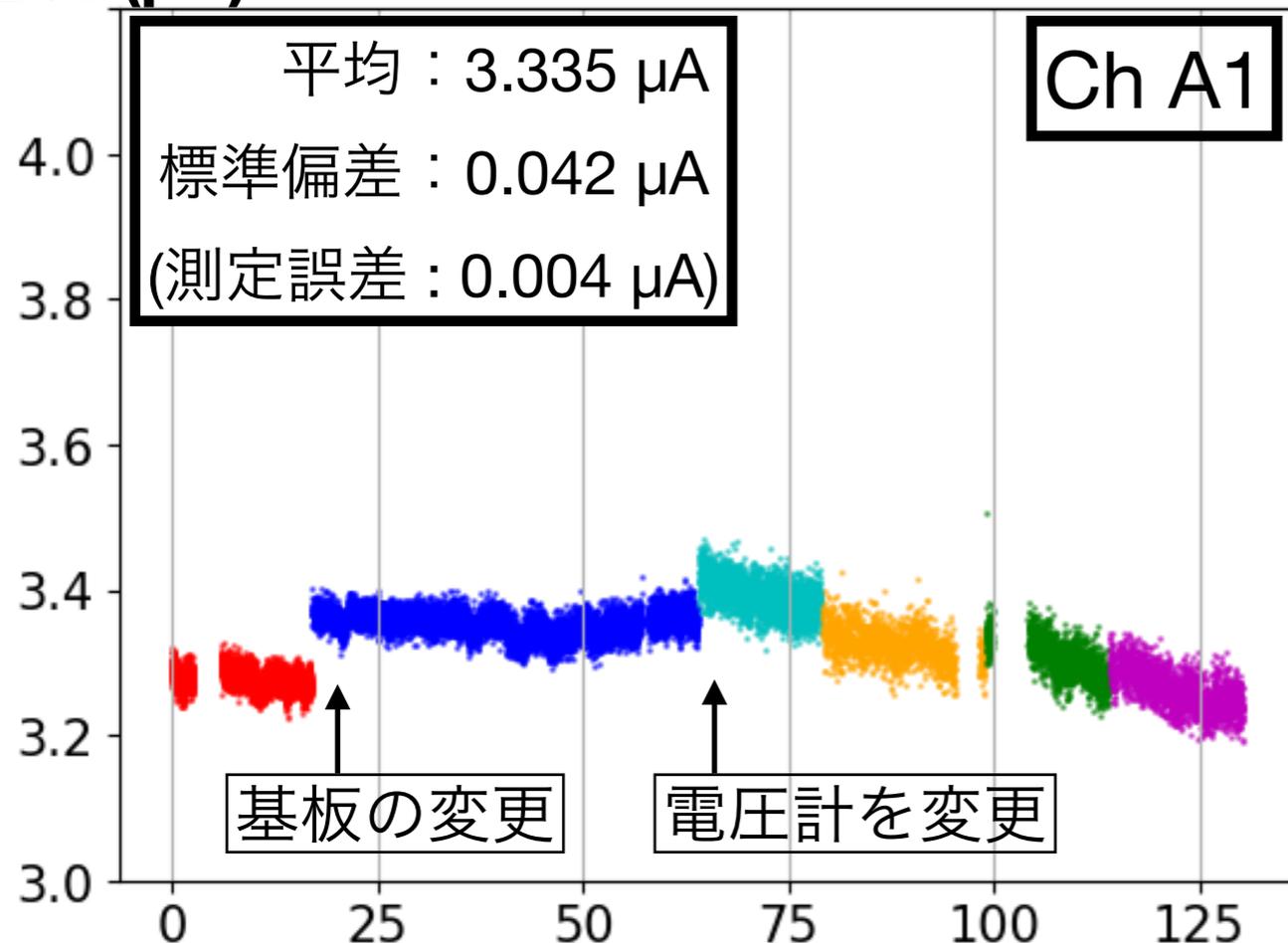
表面保護用のカプトンテープは取り付けたまま測定

正常 ch の暗電流

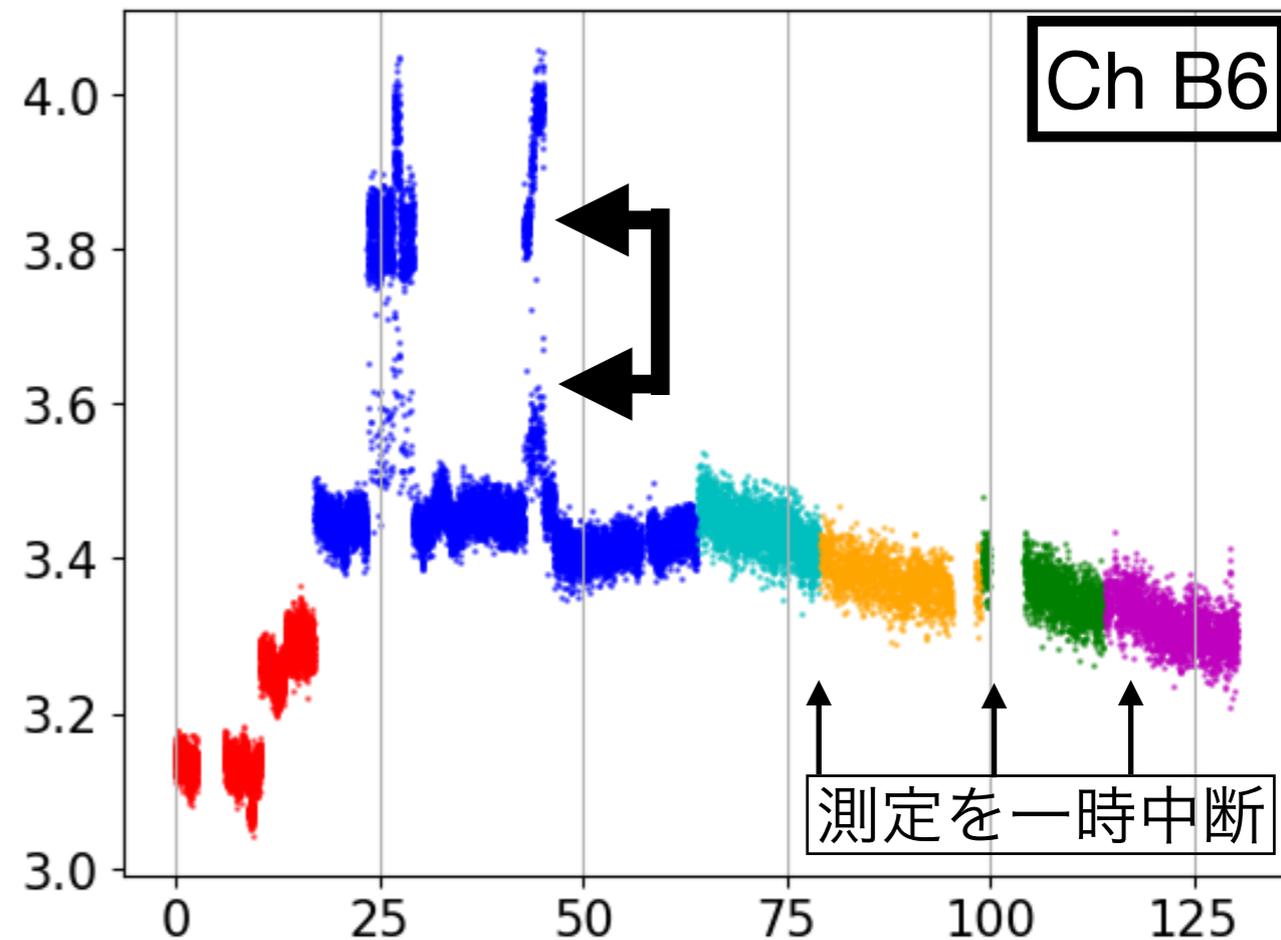
測定条件

- 印加電圧 $44\text{ V} = V_{\text{br}} (\sim 38.5\text{ V}) + \sim 5.5\text{ V}$
- 恒温槽で試験 ($25\text{ }^\circ\text{C}$)

暗電流 (μA)



マルチモーダルな振る舞い



- 全ての ch で夜空の光に起因する電流の 10 % であることを確認した 時間 (日)
- 暗電流は 1% で安定している
- マルチモーダルな振る舞いでは、特定の複数の APD セルの暗電流が増減する

大暗電流チャンネル (Ch A3)

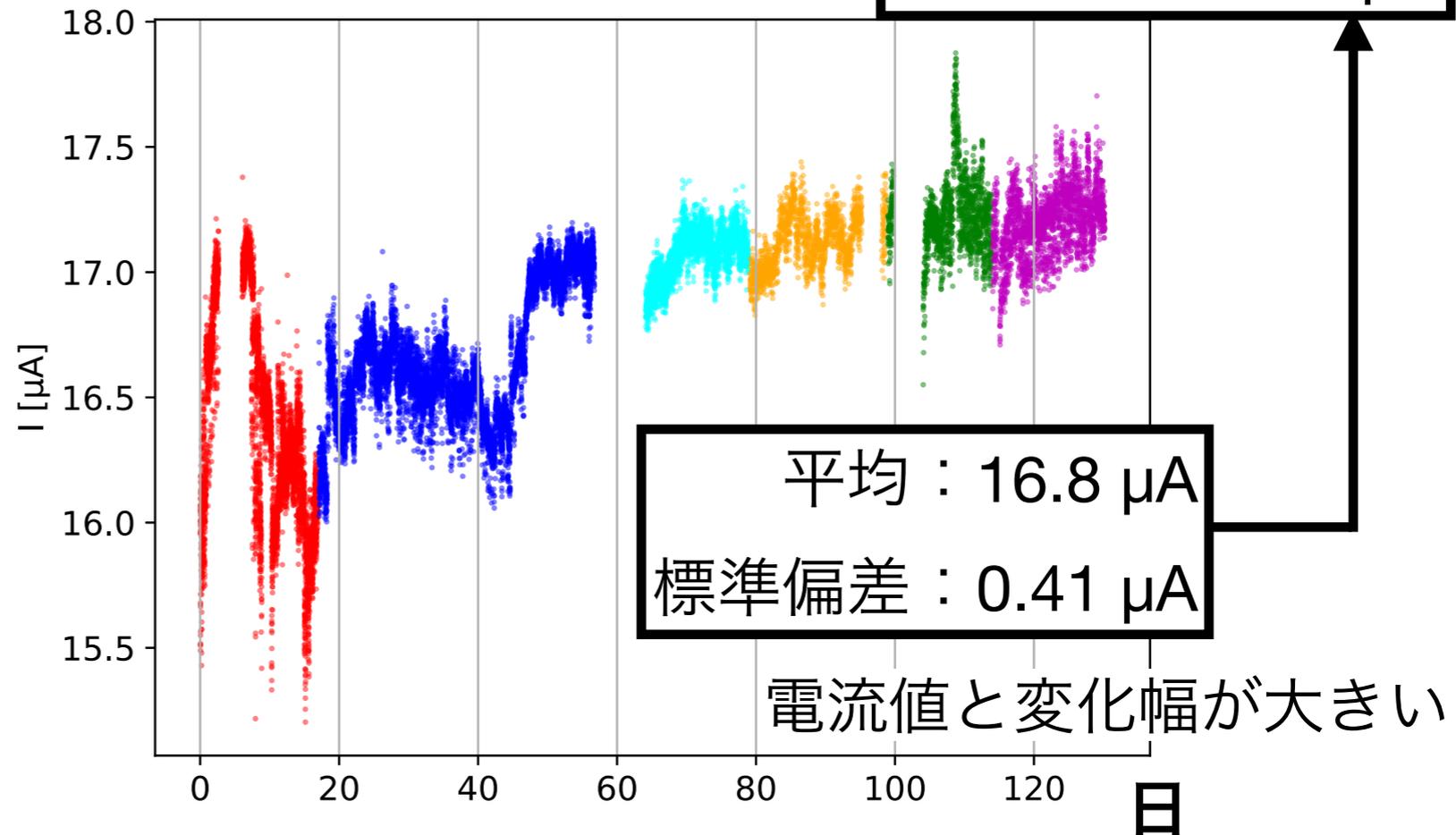
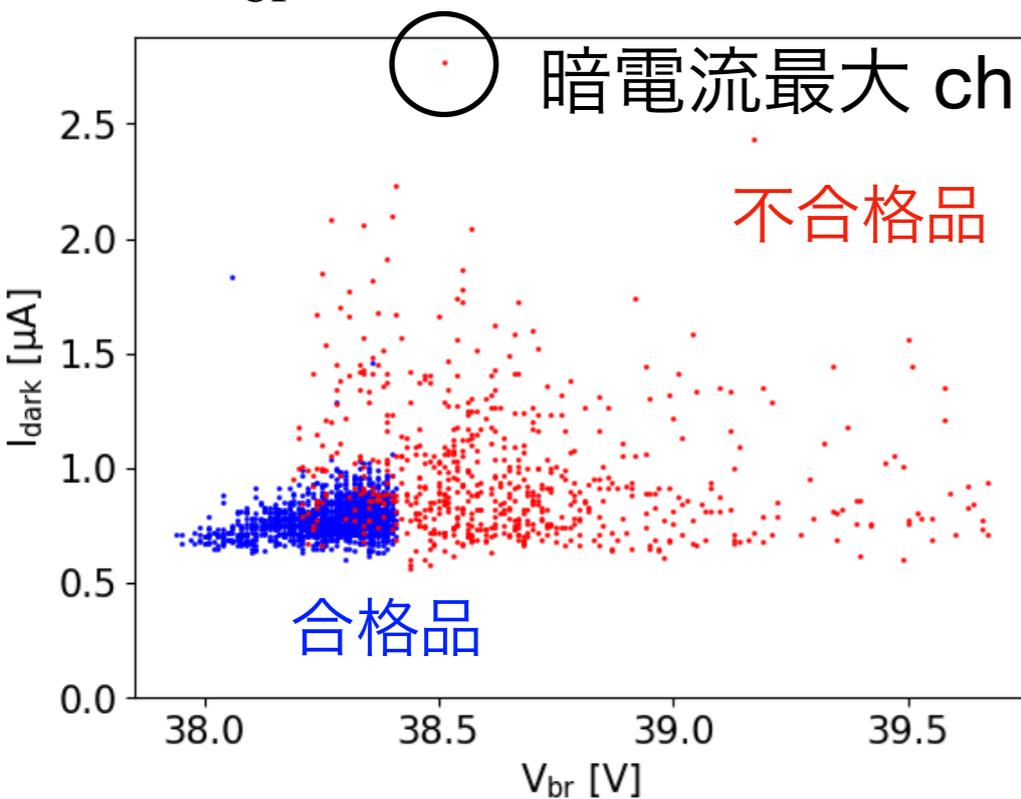
暗電流最大 ch の不合格品を測定した

➡ 今後のスクリーニングや不良発生時の対応のため、この ch の振る舞いを調査した

浜松ホトニクス測定データ
($V_{br} + 3V$ で試験)

測定条件
• V_{br} ($\sim 38.5V$) + $\sim 5.5V$
• $25^\circ C$

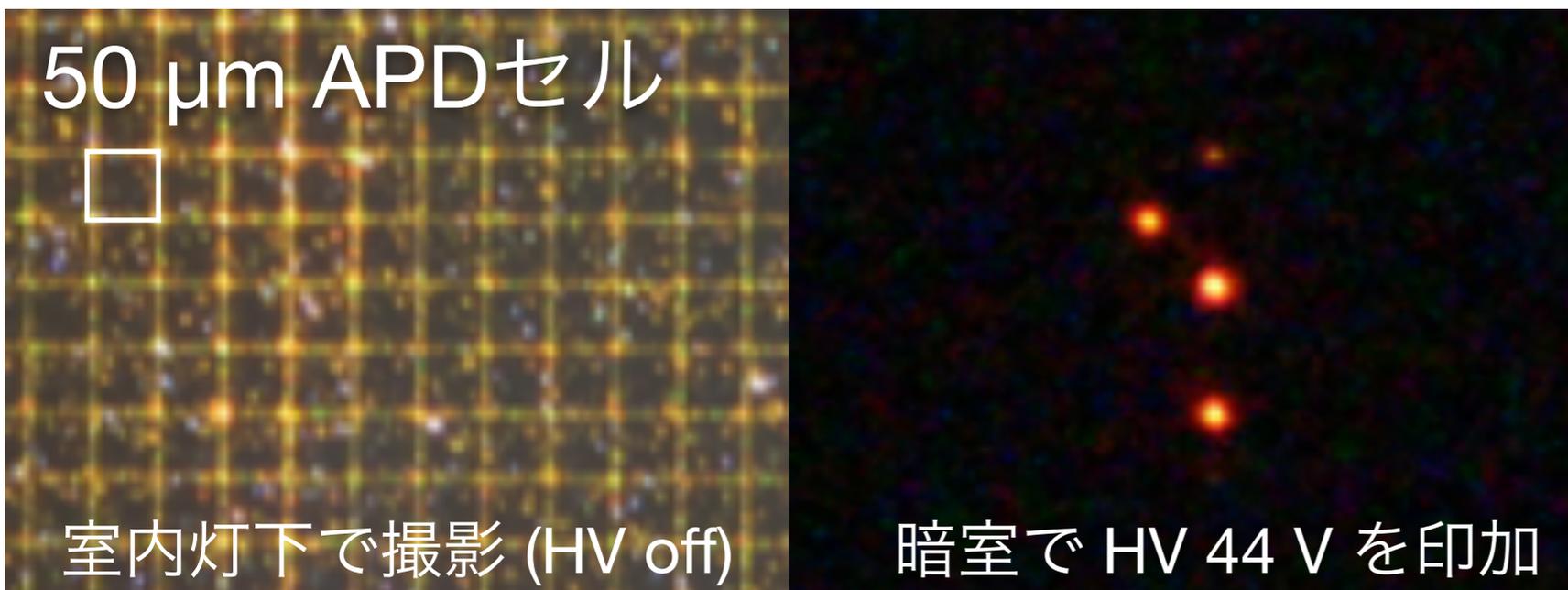
A1 平均 : $3.34 \mu A$
標準偏差 : $0.04 \mu A$



Ch A3 の暗電流は A1 の 5 倍の暗電流が流れている

大暗電流チャンネルで輝点を発見

- APD セルでは雪崩増倍の際に Si から脱励起の光子が発生する
 - 仮定：特定の APD で暗電流が増大し Si から脱励起の発光が見える
- ➡大電流が発生していないか撮影を行った（デジカメ、30 秒露光）



重ねて位置を比較

50 μm APD

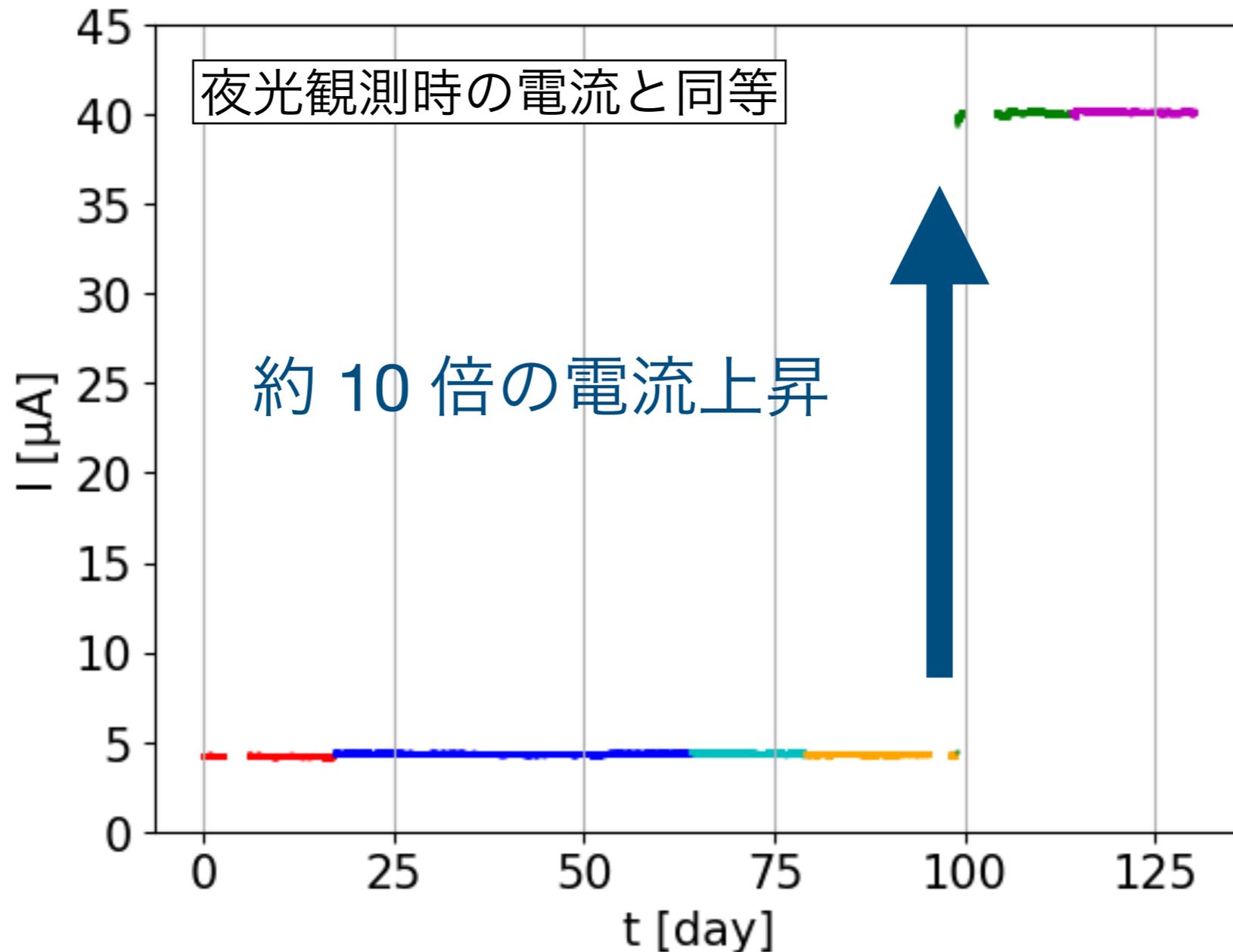
□

- APD セルの一部で 4 点の輝点を発見した
 - *4点が近くに存在
 - *全てセルの角

➡APD で局所的に大電流が流れているとき輝点が撮影できる

暗電流が 10 倍になったチャンネル

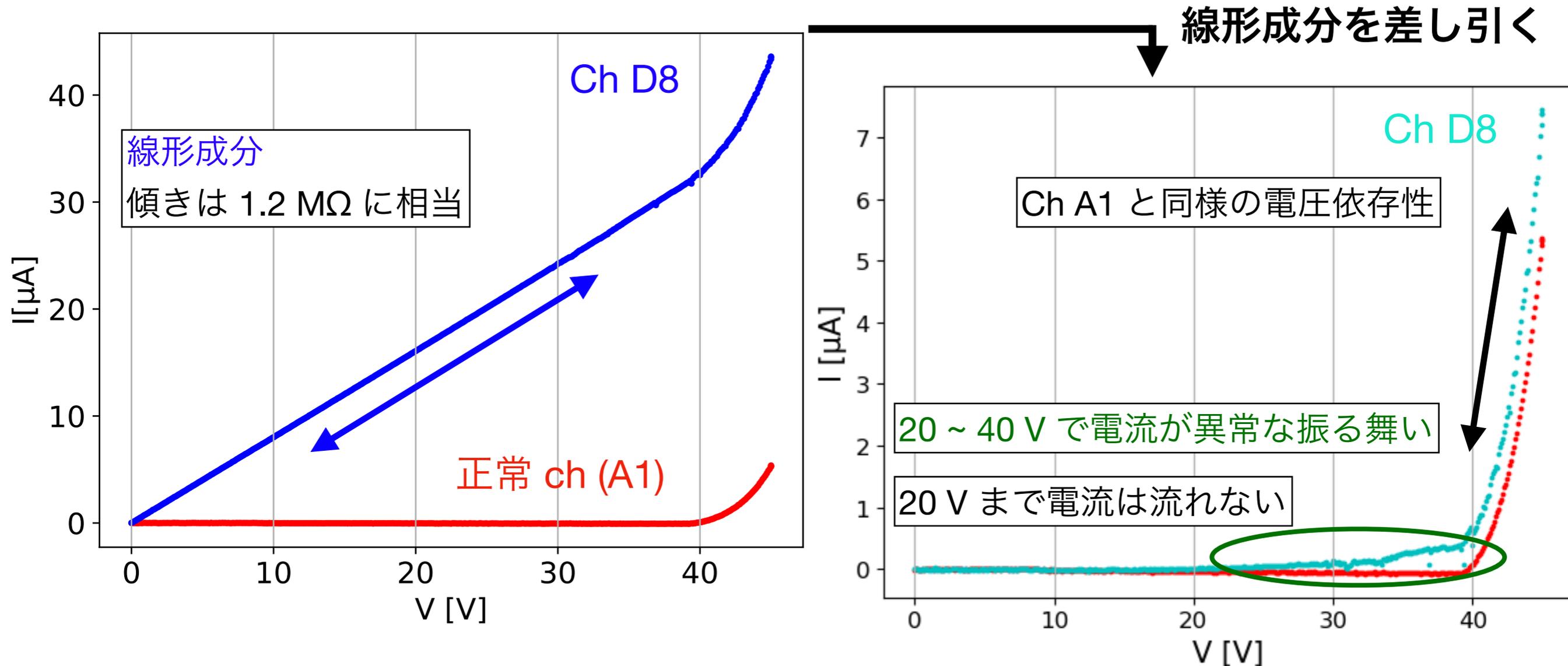
Ch D8



10 倍の増大に相当する輝点は撮影で写らなかった

➡APD で局所的に大電流は発生していないと考えられる

電流増大が発生した Ch D8 の IV 特性

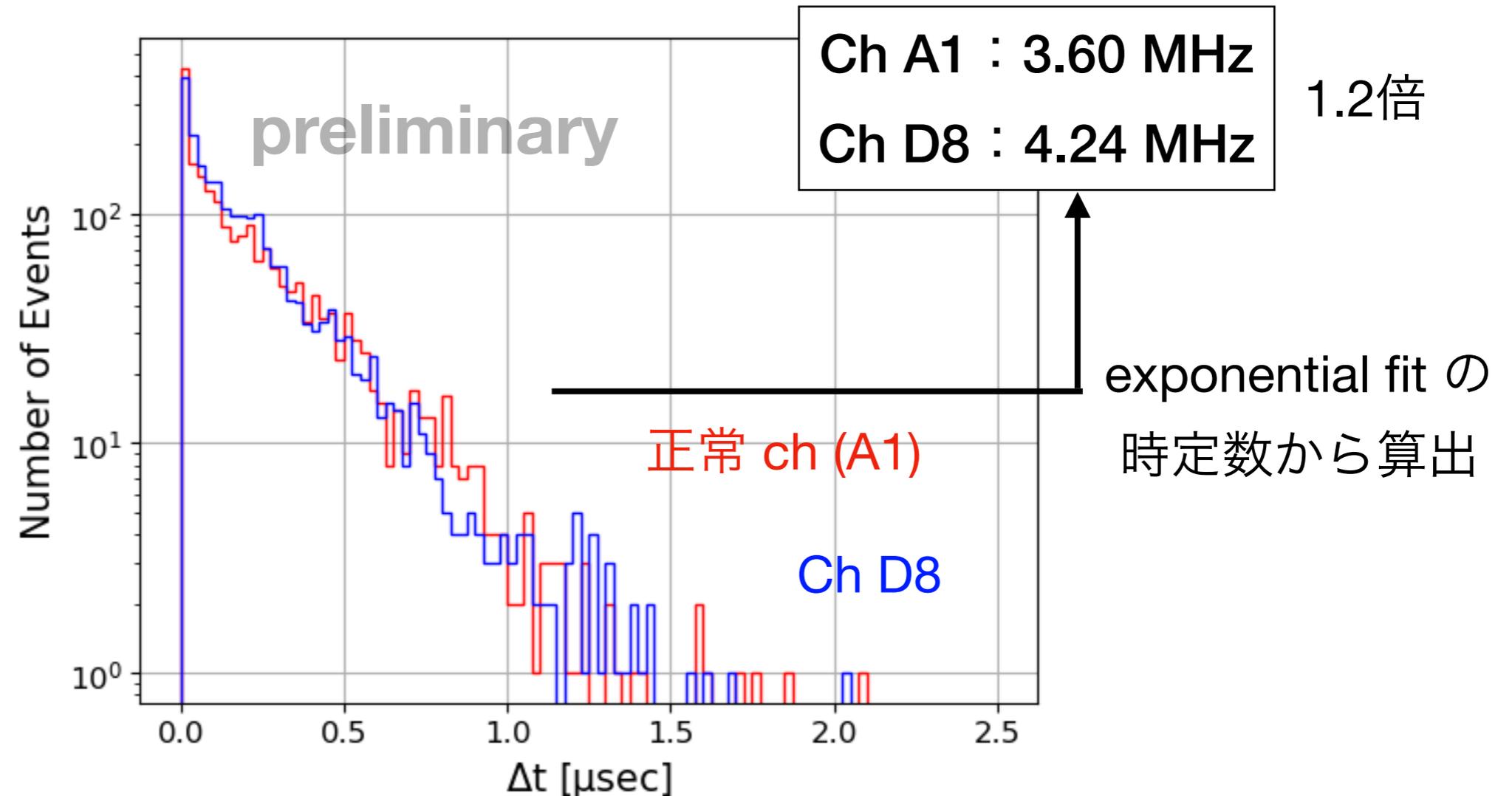


- Ch D8 では正常な IV カーブに線形成分が加わっている
- 20 ~ 40 V で暗電流が異常な振る舞いをする
- Ch D8 と並列に $1.2 \text{ M}\Omega$ 相当の経路が発生したと考えられる

電流増大 ch (D8) のダークカウントレート

ダークパルスの Δt 分布の比較

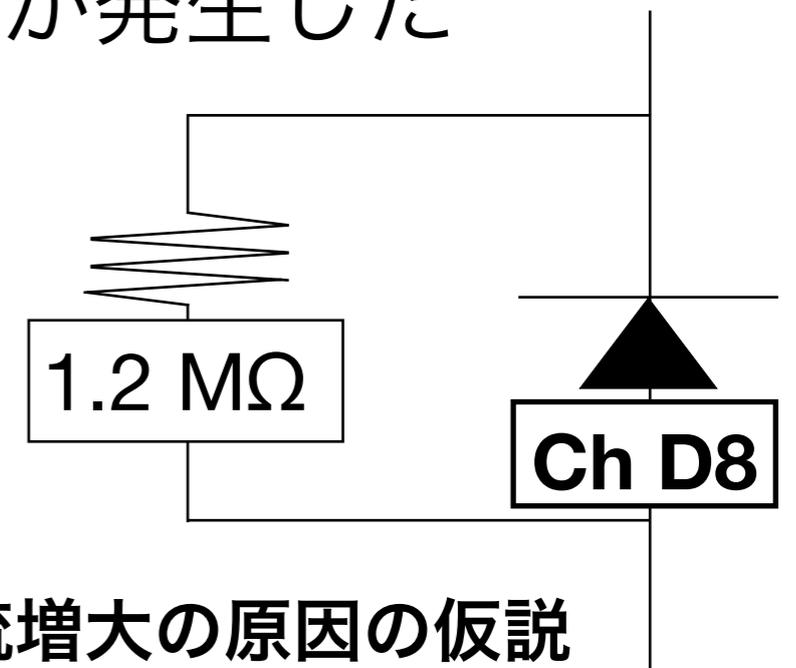
ダークカウントレート



- Ch D8 のダークカウントレートは正常 ch の 10 倍ではない
 - 電流増大は SiPM の暗電流が原因ではない (原因は不明)
 - 光子検出と波形解析は問題なく行える
 - SiPM の交換なしでチェレンコフ光の観測に使いそう

まとめと今後の展望

- 大暗電流 SiPM の APD セルで輝点を発見した
 - * 浜松ホトニクスから事前にスクリーニング済
- 10 倍の電流増大が発生した (Ch D8)
 - * APD の異常ではなく基板等で抵抗成分が発生した
 - * 浜松ホトニクスに検査を依頼予定



電流増大の原因の仮説

今後

- 電流増大や発光するセルが新たに発生しないか継続して測定