

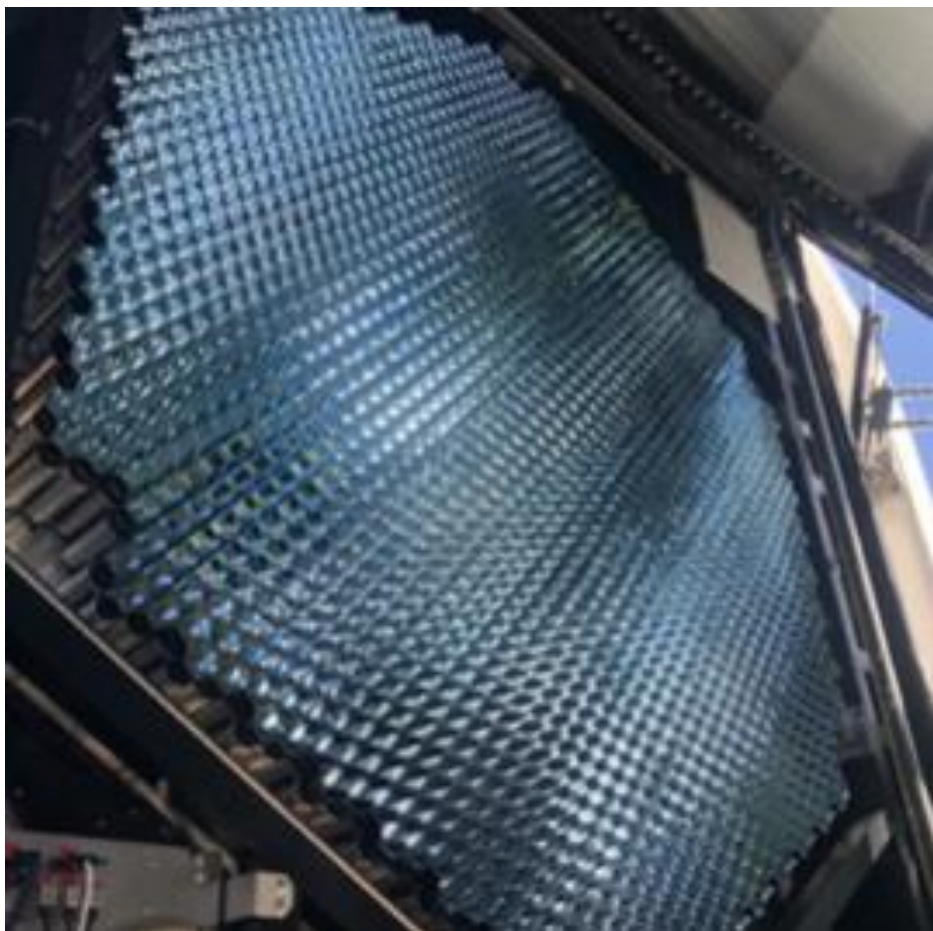
# CTAO 報告 253: CTAO 大口径望遠鏡の 観測データを使った PMTアフターパルスの解析

溝手雅也, 山本常夏

高橋光成, 野崎誠也, 齊藤隆之, 森田開, 糸川拓海, 猪目祐介,  
大岡秀行, 岡知彦, 奥村暁, 折戸玲子, 片桐秀明, 清本拓人, 櫛  
田淳子, 窪秀利, 郡司修一, 小林志鳳, 櫻井駿介, 武石隆治, 田  
島宏康, 田中真伸, 手嶋政廣, 寺内健太, 寺田幸功, 門叶冬樹,  
中森健之, 西嶋恭司, 野田浩司, 橋山和明

他 CTAO-Japan Consortium

# LSTとカメラ

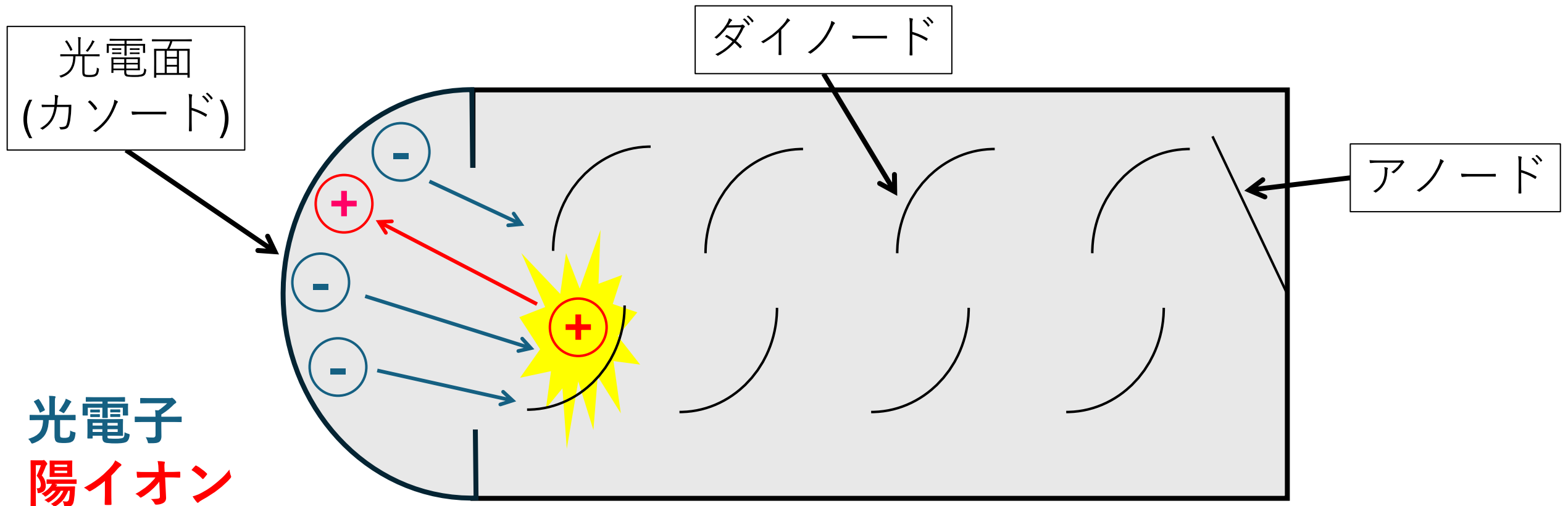


## LST(大口径望遠鏡)のカメラ

- 直径：2.5m
- 検出器：PMT(光電子増倍管)
- PMTの直径：4 cm
- PMTの数：1855本

LSTの焦点面カメラのPMTは、増幅率が4万倍に調整され、比較的低エネルギーのガンマ線を大口径の主鏡や集光器を用いて、高いシグナル・ノイズ比で観測している。

# PMTアフターパルス

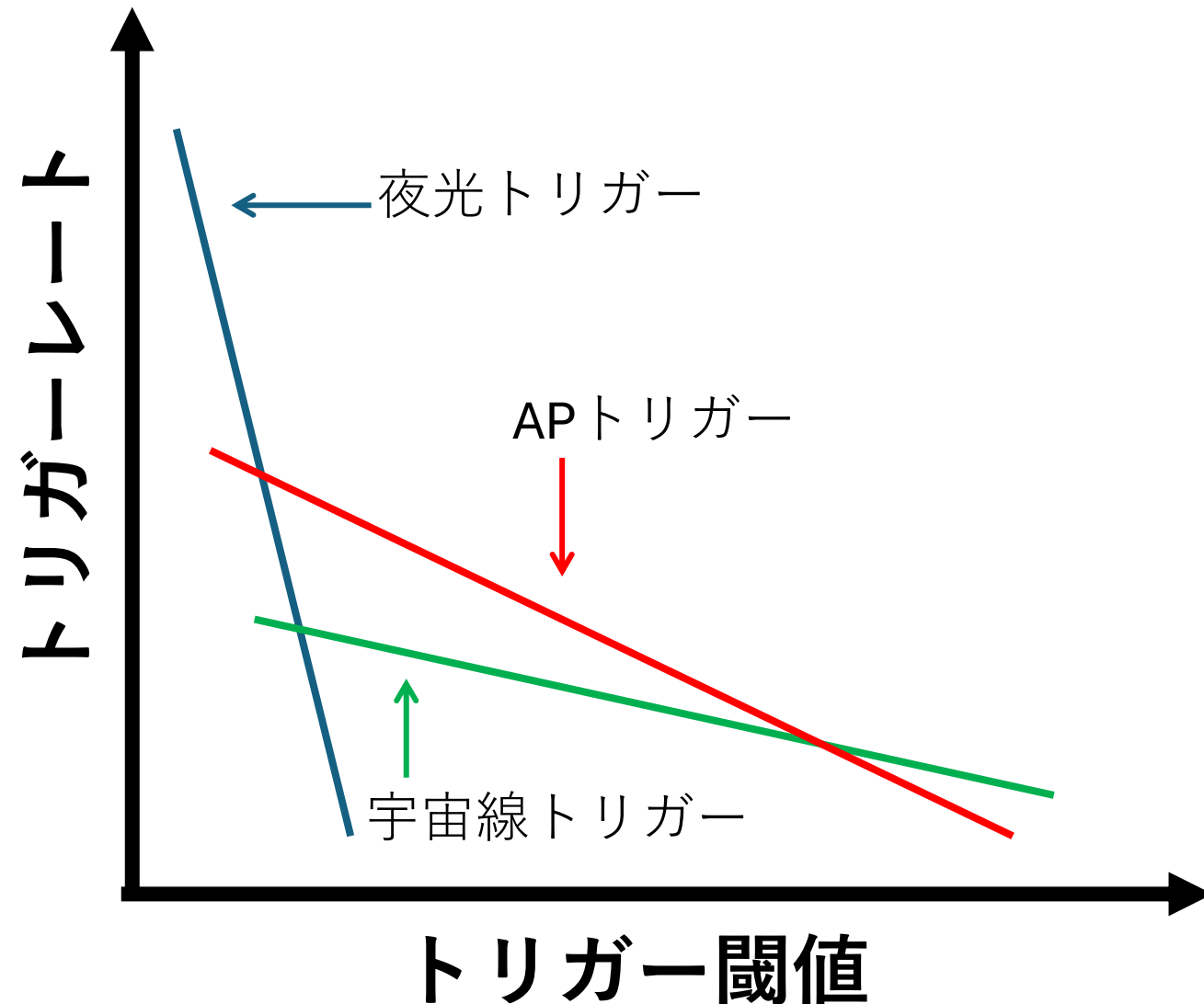


- 光電面から放出された光電子がアノードへ向かう。
- 光電子と衝突したPMT内部の残留ガスの分子は、電離してイオン化する。
- 陽イオンが光電面へと加速し、電子を生成する。

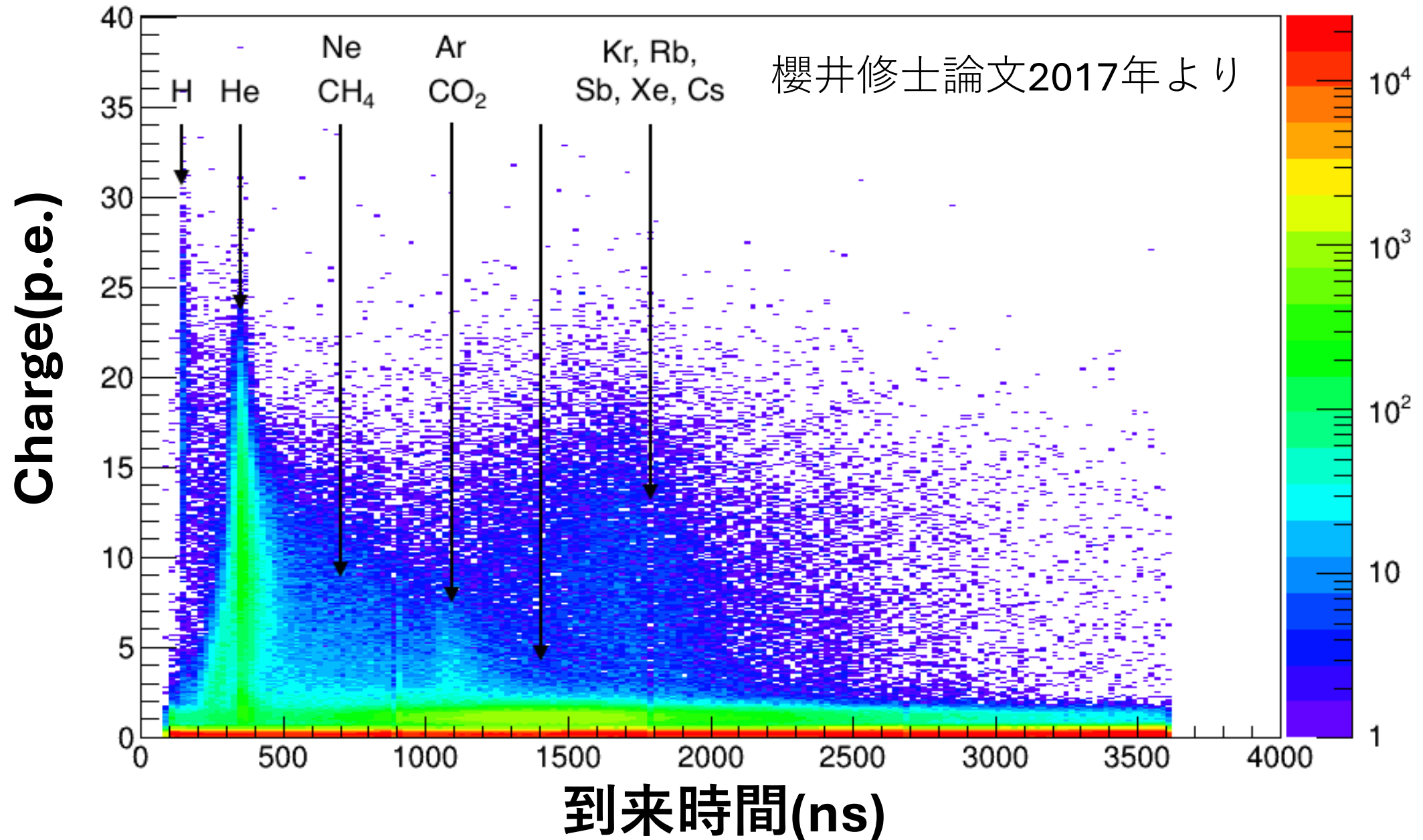
この電子による信号を「アフターパルス(AP)」と呼ぶ。

# APの影響

- 観測中カメラにはチェレンコフ光と夜光が入射している。
- バックグラウンド(主に夜光)を基準にトリガー閾値を決めて、ガンマ線を観測している。
- 電荷量の大きいAPが多くなると、閾値が変わって、観測エネルギーの下限値にも影響する。

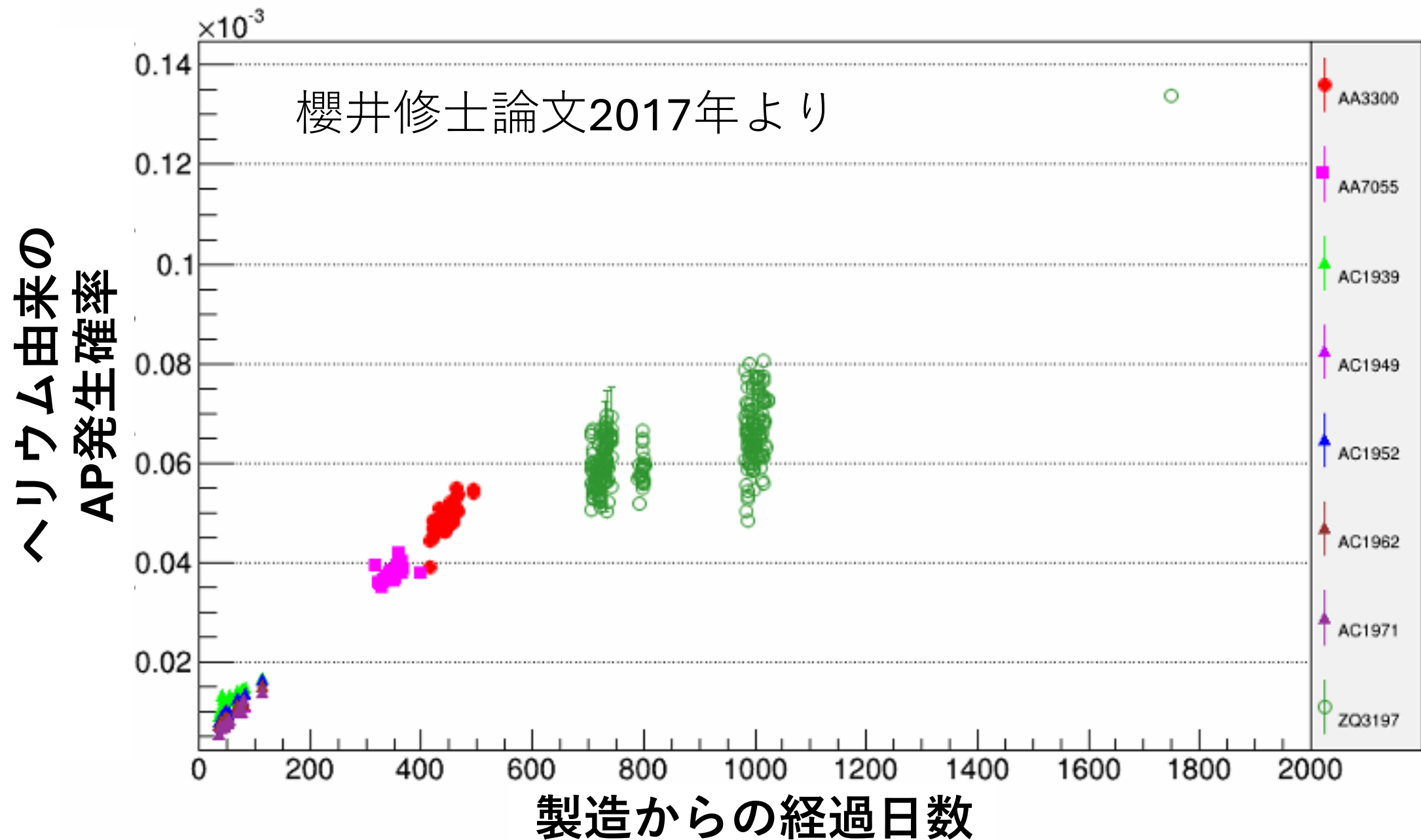


# 主要な残留ガス



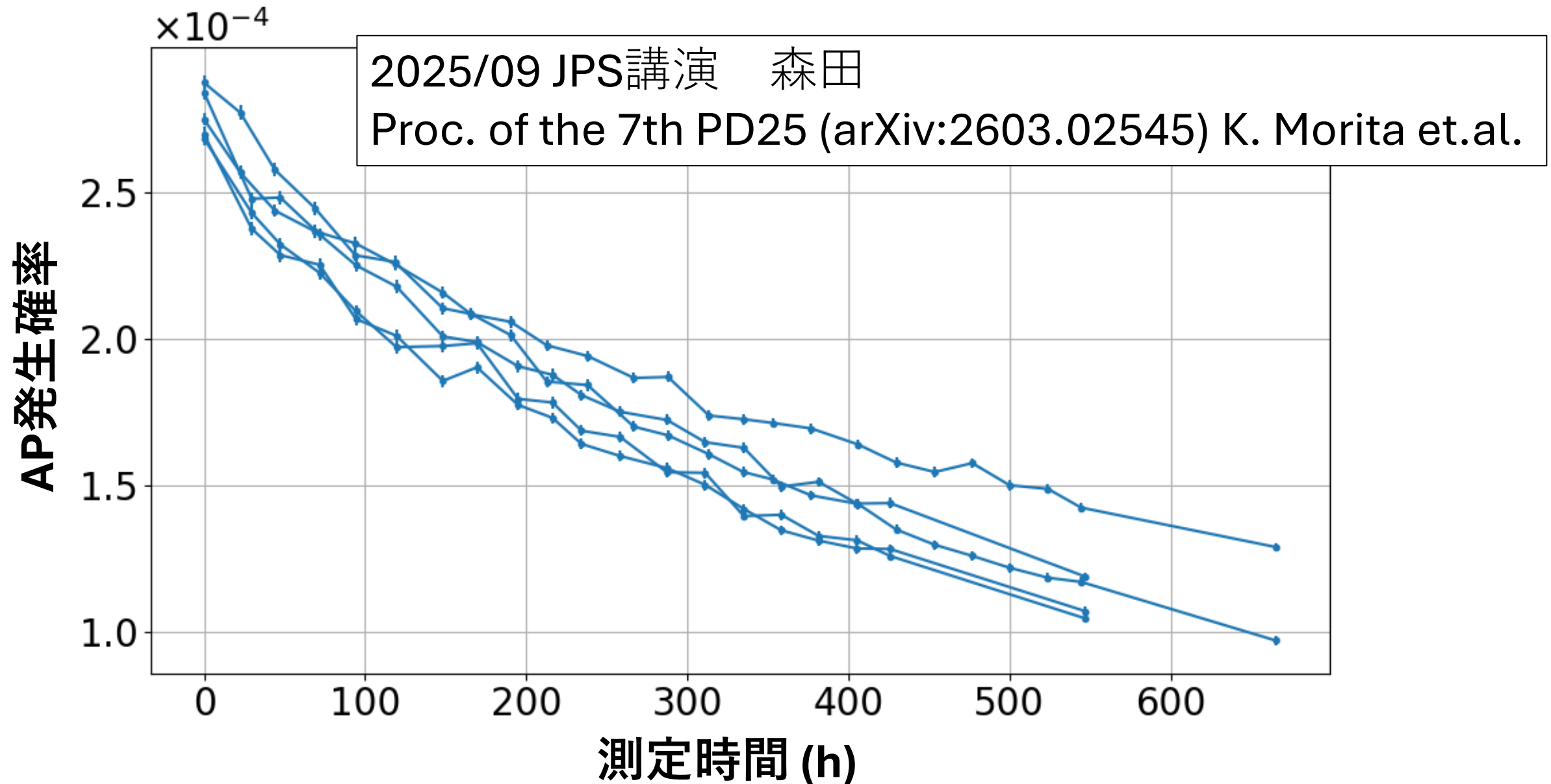
実験室でPMTにレーザーパルスを照射し、APを測定した。APの頻度を色で表している。ヘリウムによるAPの信号の頻度が多いことがわかる。

# APの経年増加



実験室で複数のPMTのAPを測定した結果。製造時には1光電子に対するAP発生確率が $1 \times 10^{-5}$ 程度だった。それが $3.6 \times 10^{-5} / \text{year}$ の早さで増加していることが分かった。ヘリウムガスがガラスを透過して、PMT内部に侵入しているのが原因だと考えられる。

# 減少効果



別の実験室測定。3週間PMTに1100V印加しLEDで夜光の10倍の光を照射し、AP発生確率をモニターした。その結果、APの減少が確認された。

# 目的

- 実験室測定から、APの発生確率が時間と共に上昇することが分かった。また、APが減少する効果も確認された。
- 望遠鏡に実装されているPMTのAP発生確率を測定する必要がある。
- 観測データからAPの発生確率を推定することを目指す。
  - 観測中、データ補正のために100Hzの頻度でペDESTALデータを集めている。
  - そのデータには夜光や電氣的ノイズなどと共にAPが入っている。
  - ペDESTALデータから夜光とノイズの分布を推定し、APの発生確率を推定する。

# 夜光と after pulse のモデル

ペデスタルは夜光と After pulse、電気ノイズから成ると仮定し、  
実験室データからフィットモデルを作る

$$P(x) = f(\lambda, p(x), \sigma(x), ap)$$

**$x$  : ペデスタルの電荷量, intensity**

**$P(x)$  : ペデスタル確率分布関数**

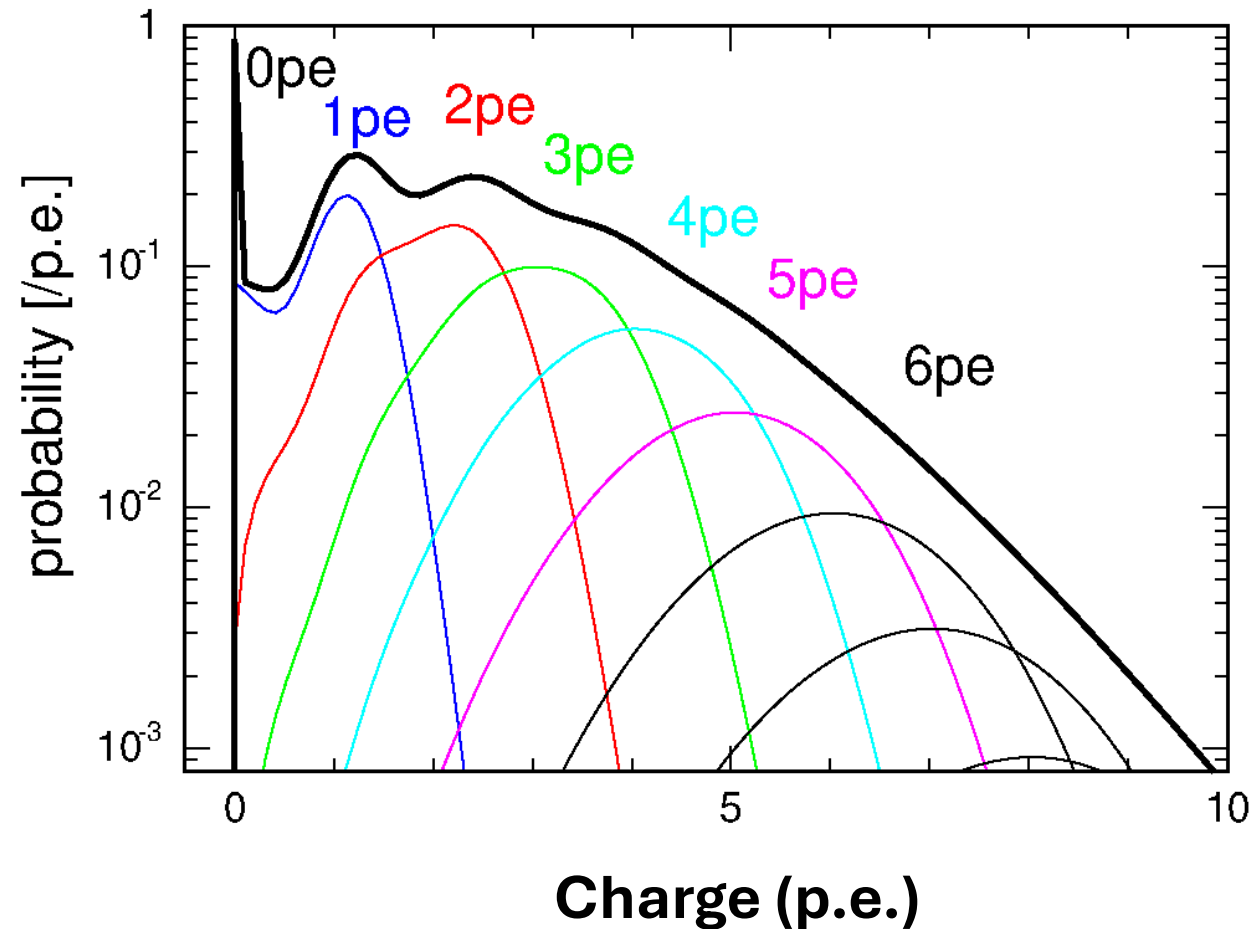
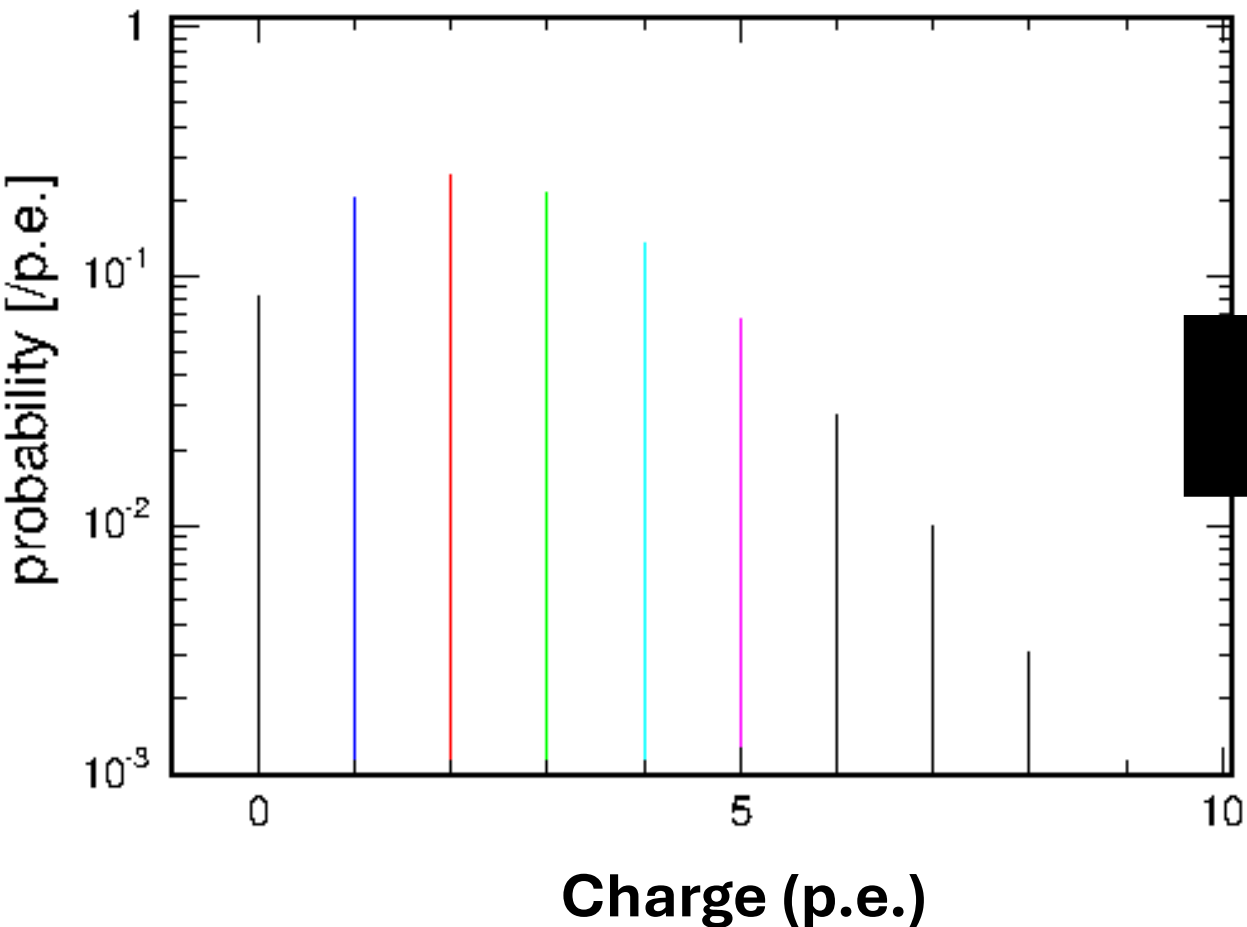
**$\lambda$  : 夜光の入射頻度 [ /12 ns ]**

**$p(x)$  : 1 光電子確率分布**

**$\sigma(x)$  : 電気ノイズ**

**$ap$  : AP の発生確率**

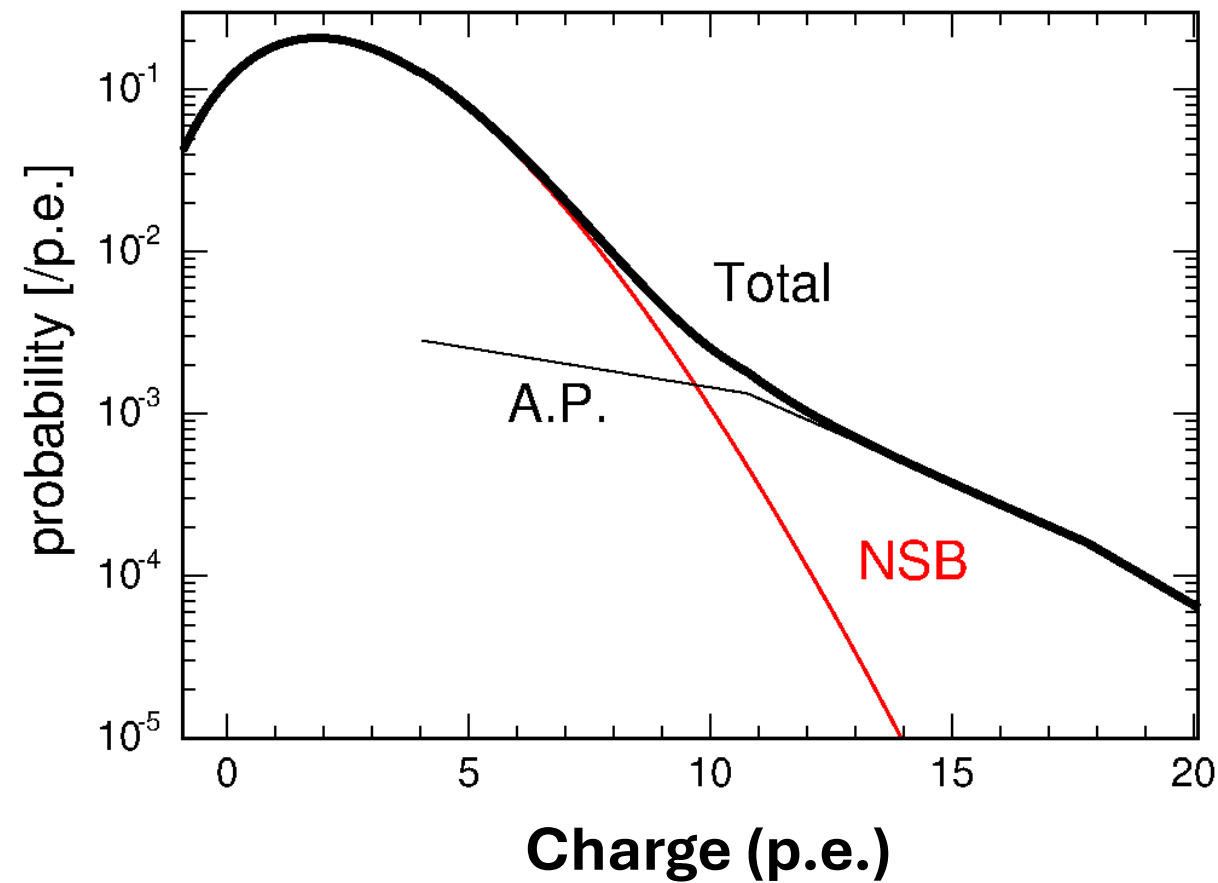
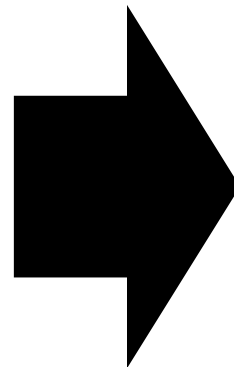
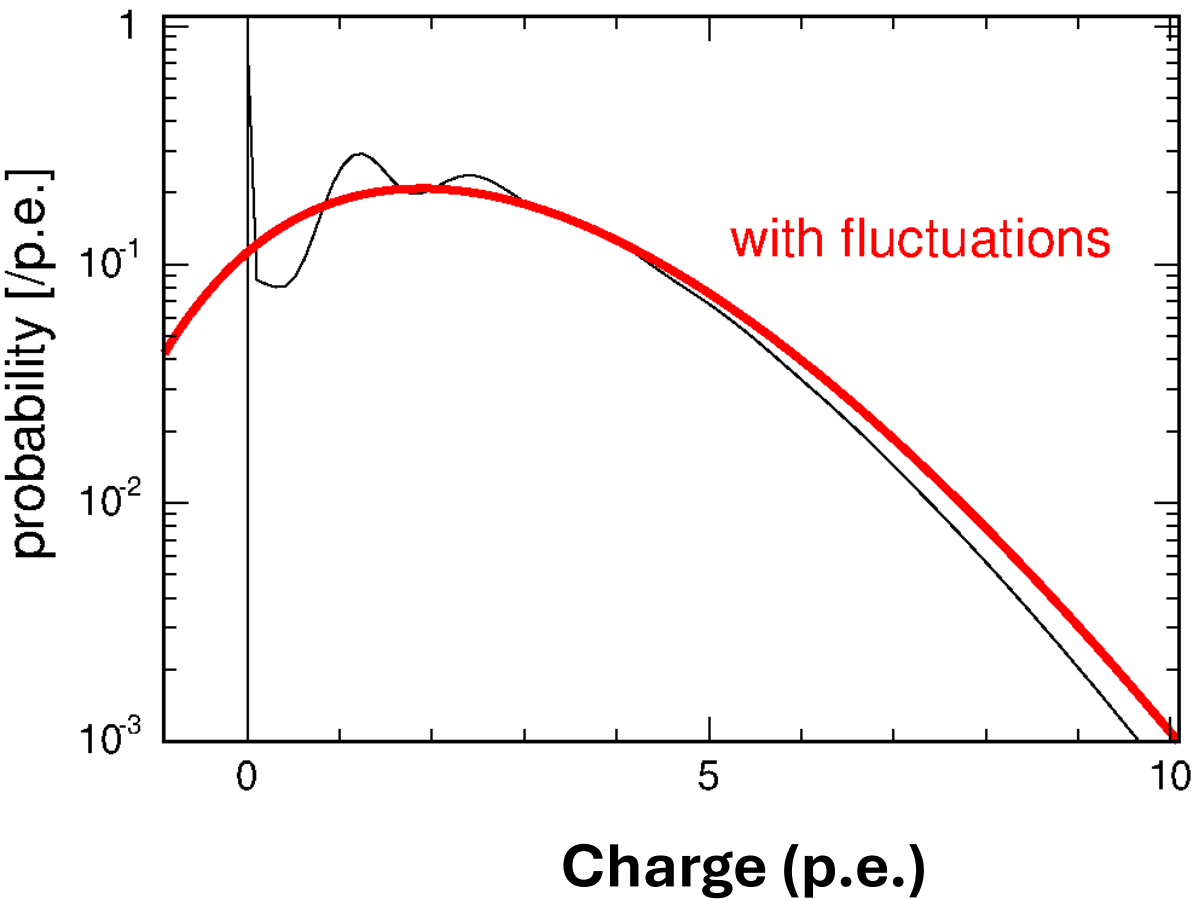
# 夜光と after pulse のモデル



各PMTに入射してくる夜光の頻度は約250 MHz。ペDESTALは12nsの時間窓で測定されているので、平均で $\lambda$ =約2.5p.e.程度の頻度で夜光が入っている。 $\lambda$ から検出される夜光の確率分布関数が求まる。

実験室測定から得た1peに対する応答関数を使い、畳み込みから2pe以降の応答関数をもとめ、夜光の確率分布関数に含める。

# 夜光と after pulse のモデル

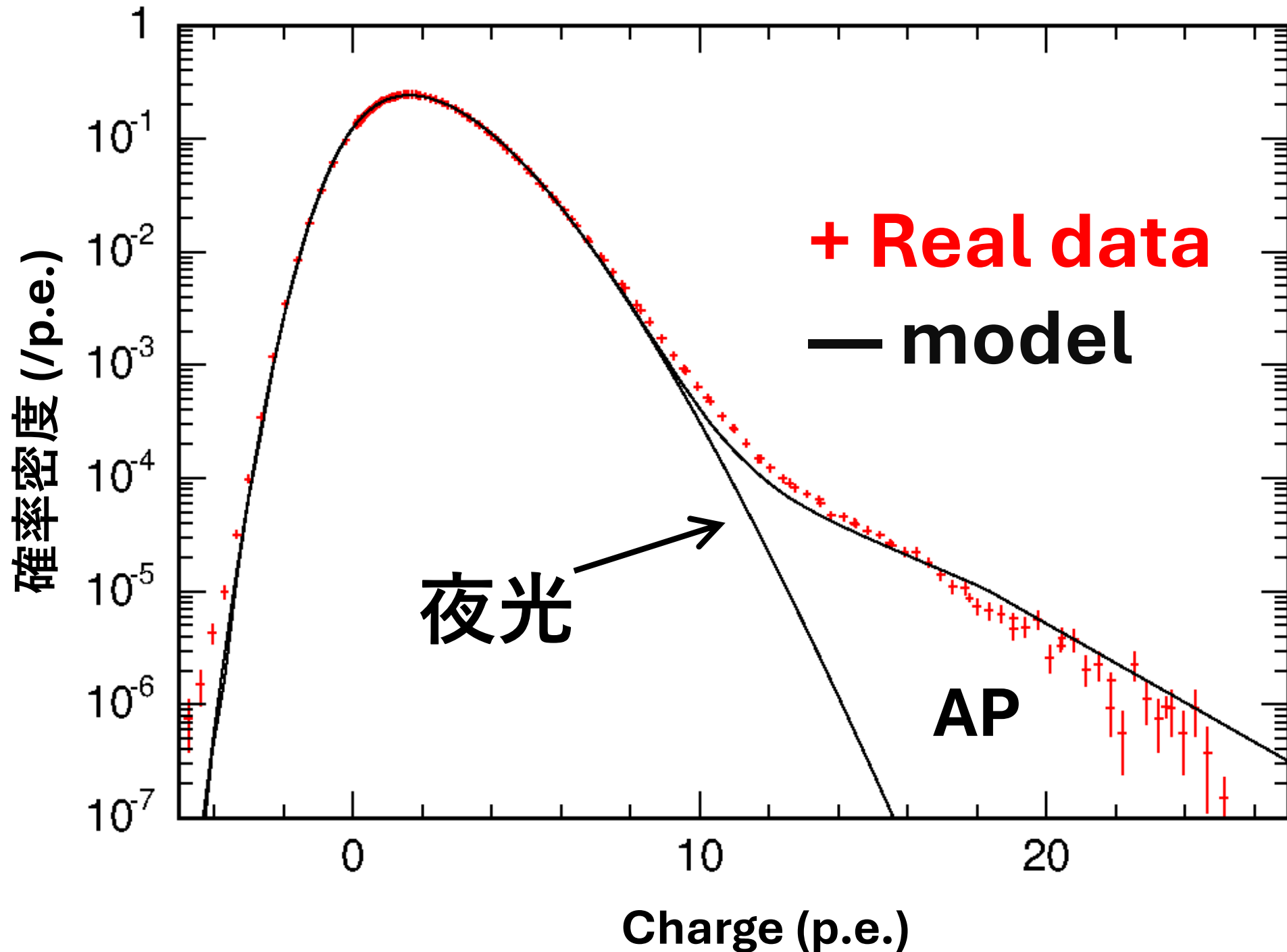


電気ノイズを夜光確率分布関数に載せる。

さらにAPの発生確率分布関数を加える

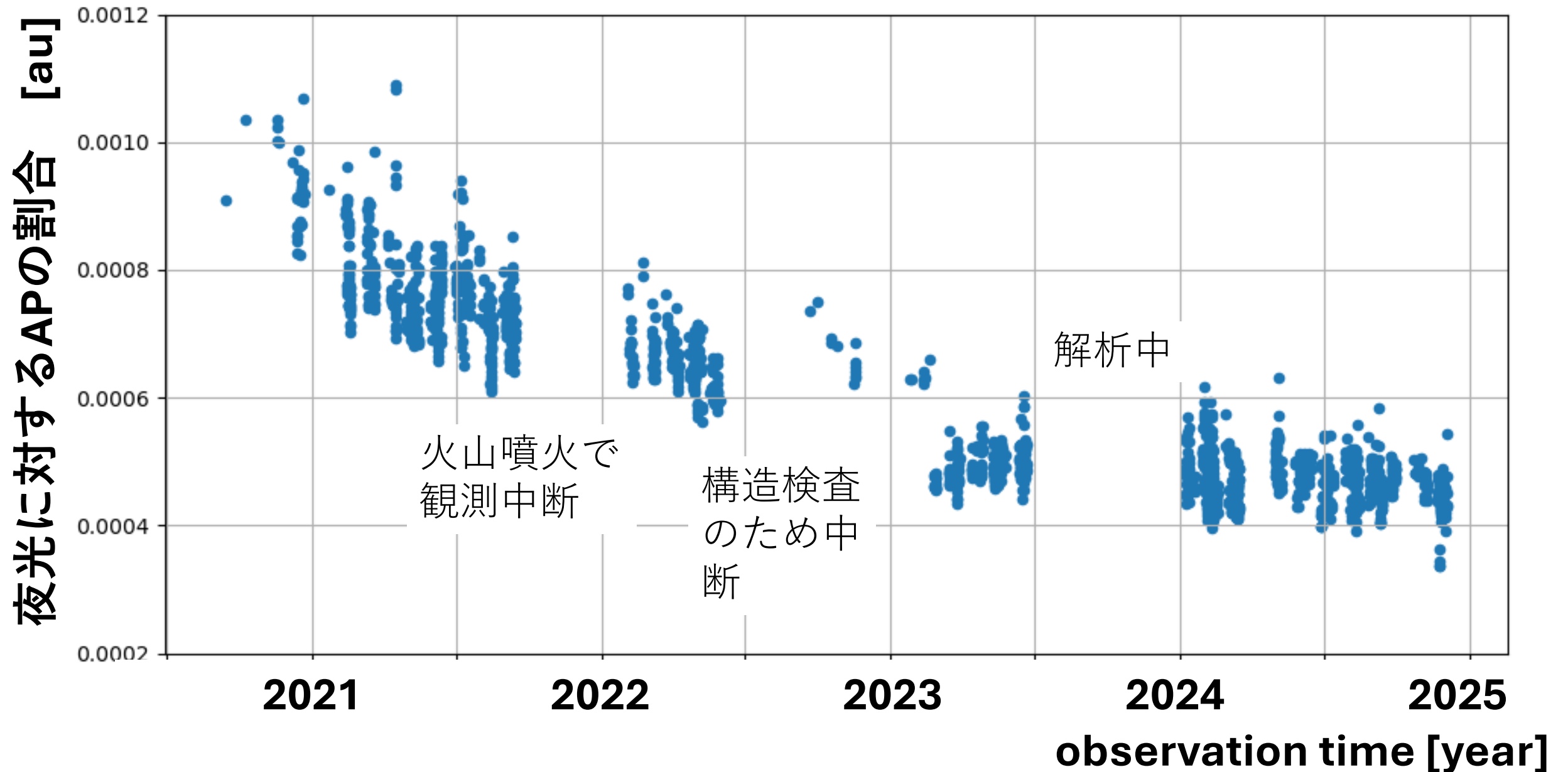
4つの変数を観測データに最適化することにより、  
夜光とAPの量を推測する

# 観測データとモデルの例



ペDESTラルのモデルを、実際の観測データにフィットさせた例。  
観測データとフィットモデルの比較をして、夜光を差し引くことで、APの発生頻度の推定ができる。

# APの推定



2020年から最近まで5年間の観測データを使い、AP発生率の時間変動を求めた。2021~2022年でAPが観測とともに減少していることと、2023年以降で値がほぼ一定になっていることが分かった。

# 結果

- ペDESTAL測定データを使い、APの発生量の変化を求めた。
- 観測と共にAPが減少した後、一定の量になっていることが確認された。
- 今後、各PMTのAP発生確率を求める予定。