

光電子倍增管を利用した 惑星雷発光観測装置の開発



金星雷発光想像図

大野 辰遼

北海道大学 理学院宇宙理学専攻 博士2年

高橋幸弘, 佐藤光輝, 渡辺重十, 高木聖子, 今井正堯

Introduction

- 雷
 - 放電現象 (音, 発光)
 - 地球以外にも
 - 木星 (Galileo, JUNO など)
 - 金星にも? 議論中

- 雷放電メカニズム
 - 火山活動
 - 風による摩擦
 - 対流
 - 物質やエネルギーを輸送
 - = 大気ダイナミクス理解に重要

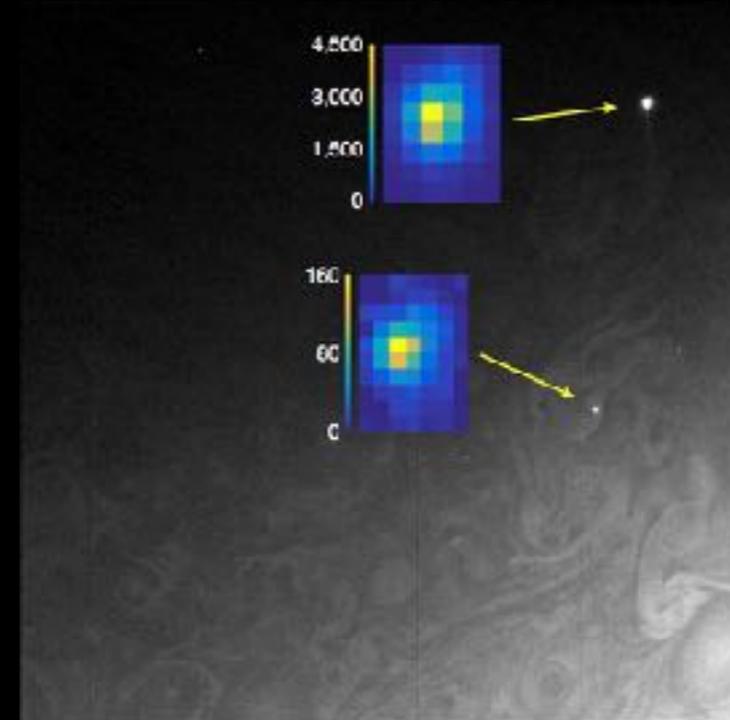


Fig. 1. JUNOで観測された木星雷発光 (Becker et al., 2020)

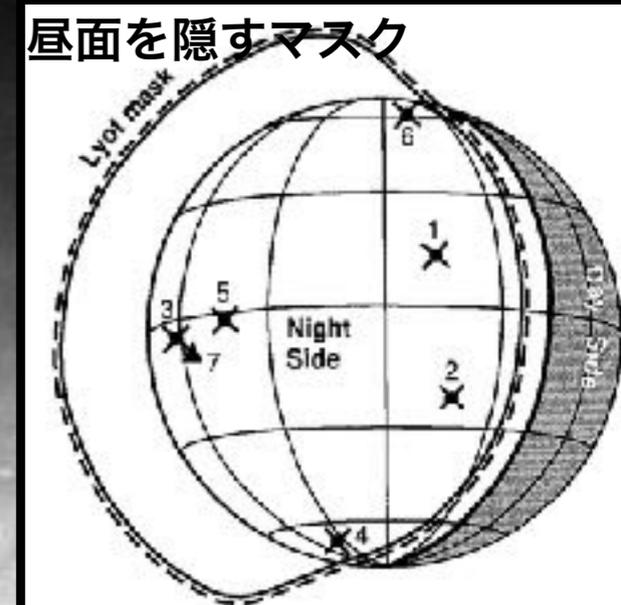


Fig. 2. 地上望遠鏡で観測された金星雷の位置. (Hansell et al., 1999)

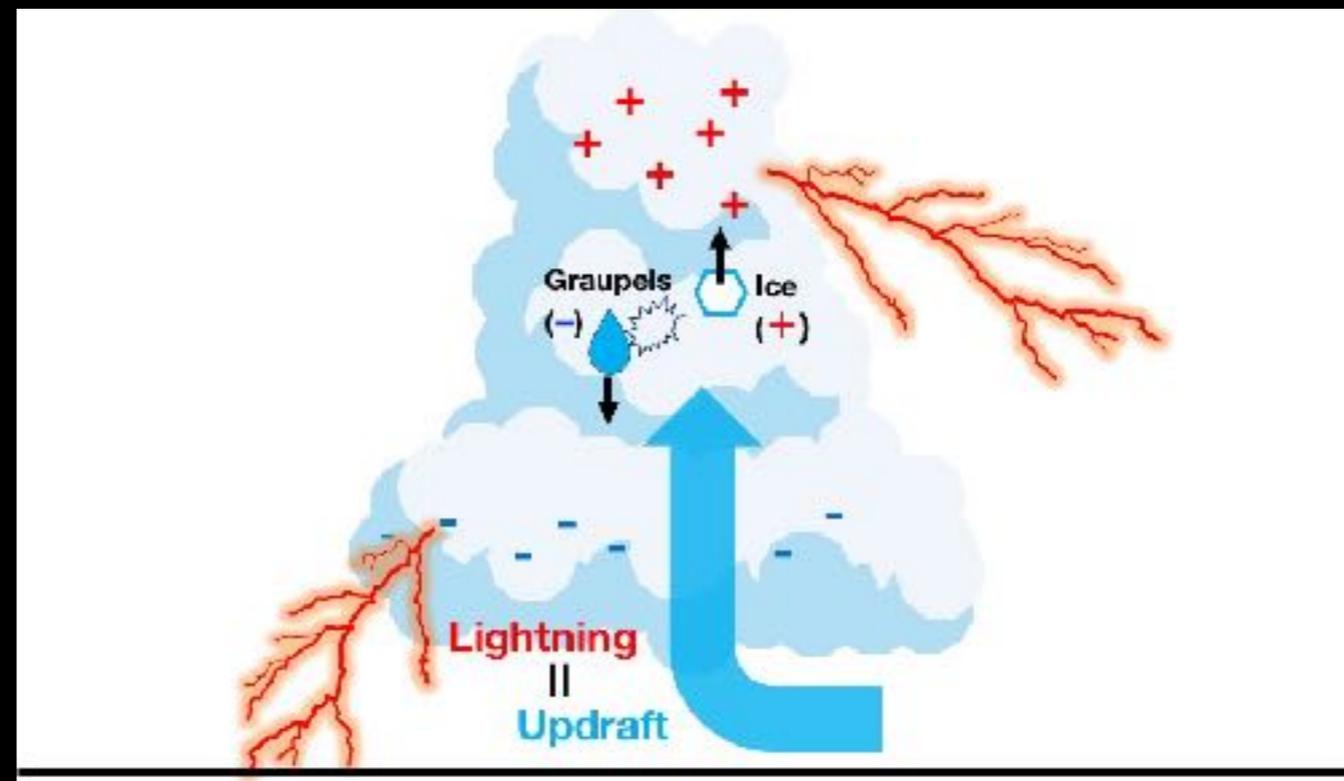


Fig. 3. 積乱雲をともなう雷発生メカニズム.

木星・金星の雷

- 雷のスペクトル (Borucki et al., 1996)
 - 木星 ($H\alpha$ 656 nm)
 - 金星 (OI 777 nm)
- 発光エネルギー
 - 木星 $\sim 10^5 - 10^{10}$ J (Becker et al., 2020)
 - 金星 $\sim 10^7 - 10^{10}$ J (Hansell et al., 1999)

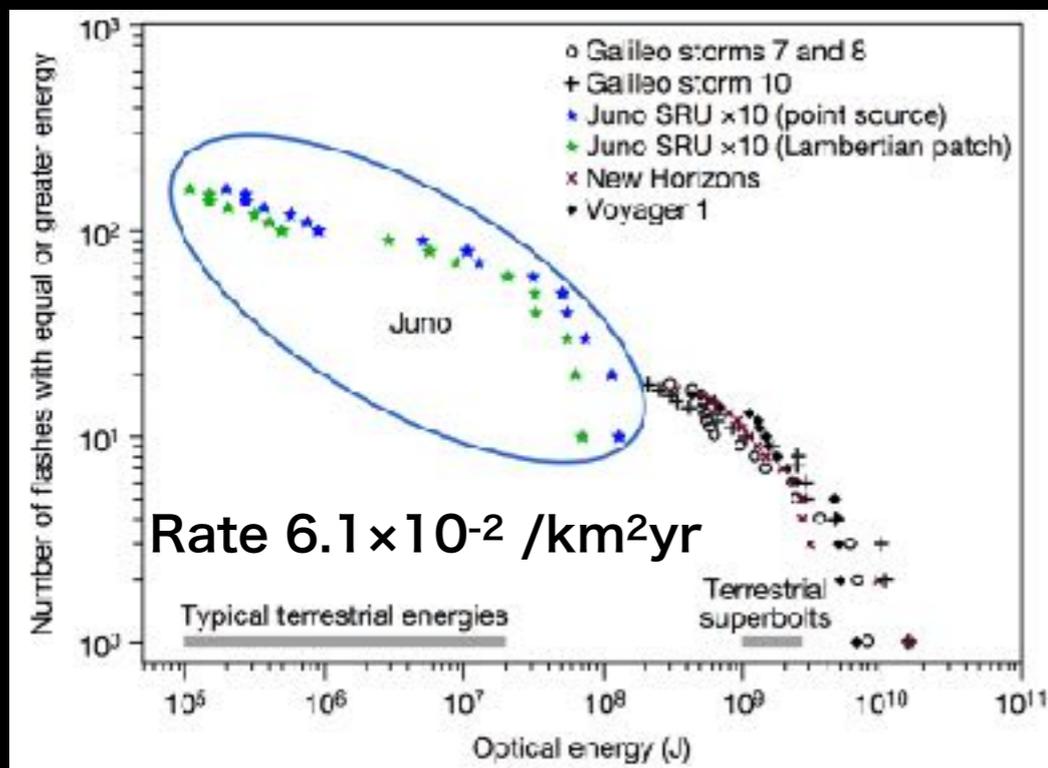


Fig. 5. 木星雷発光エネルギーと観測累積数 (Becker et al., 2020). 青, 緑星印がJUNOによる観測結果.

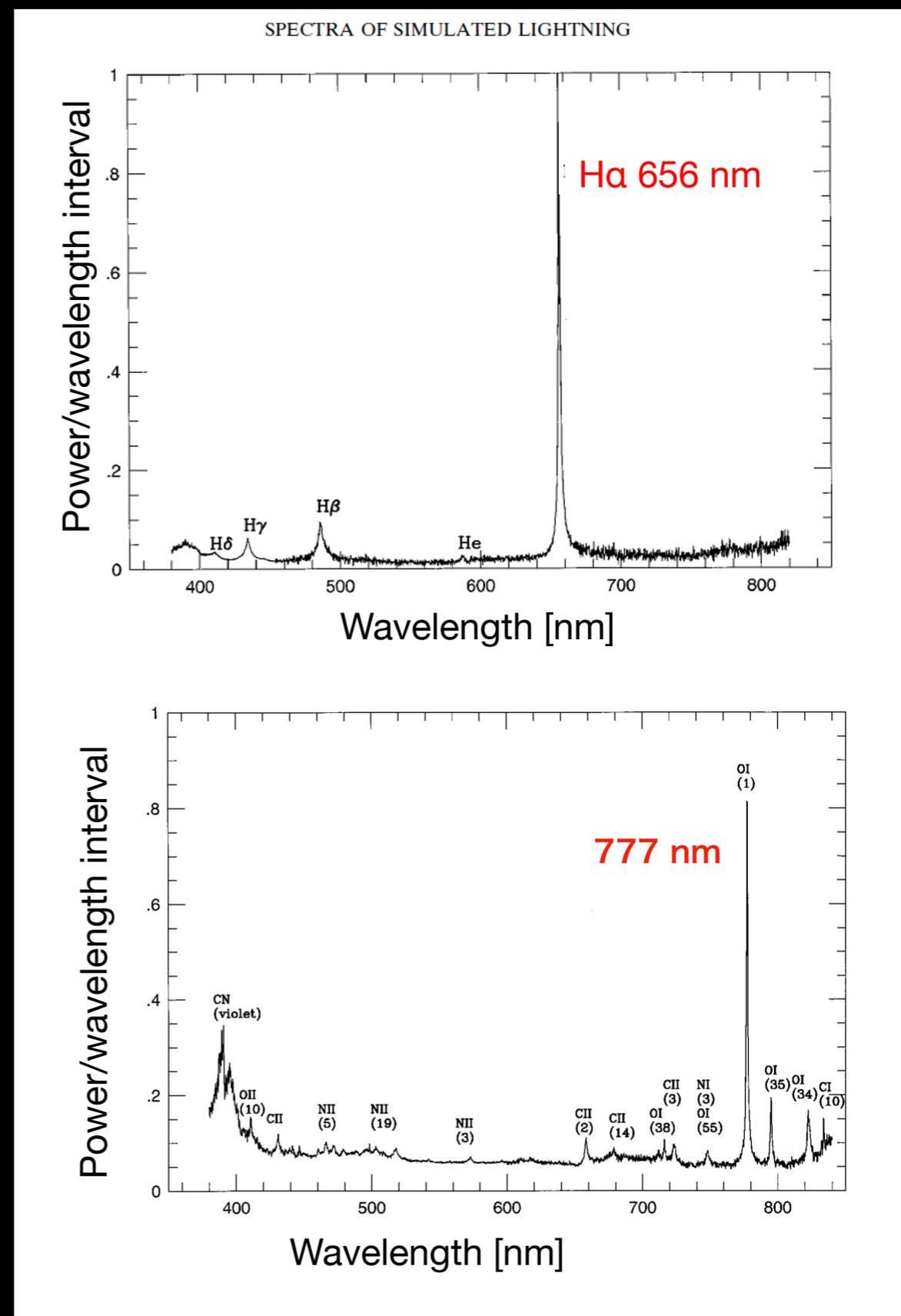


Fig. 4. 室内実験による1 barでの雷発光のスペクトル(Borucki et al., 1996). (上) 木星, (下) 金星.

開発装置 PLD

- Planetary Lightning Detector
- 高速測光で雷発光のライトカーブ取得. (他発光と区別. 昼面光減=SN向上.)
- 観測時間を増やすために地上望遠鏡に搭載
- 光電子倍增管使用
 - 最短露光 $50 \mu s$
- ナローバンドフィルタ
 - 777, 656 nm
 - FWHM 1nm
- CCDと同時撮像
 - 光電子倍增管の観測位置, 星像のコンタミ確認

Table 1. PLDの仕様

Table. Specification of PLD (2020/06)	
CCD	WATEC WAT-100N
Array format	1/2inch interline transfer CCD image sensor 768 x 494 pixel (Effective)
Photon Counting Head (PMT)	HAMAMATSU Photonics H12386-01
Effective area	Ø 8 mm
Spectral Response	230 – 870 nm
Filter	656 nm (FWHM = 1 nm) 777 nm (FWHM = 1 nm)
Dichroic filter	625 - 795 nm (Reflection >97% avg.) 400– 580 nm (Transmission >85 % avg.)
Field of view	40" x 50" (CCD) 5", 10", 30", 1', 2x11" (PMT)
Shutter speed	1/100, 1/250, 1/500, 1/1000, 1/2000, 1/5000, 1/100000 sec (CCD)
Exposure time	Minimum 50 μs , Maximum 100 s (PMT)

PLD

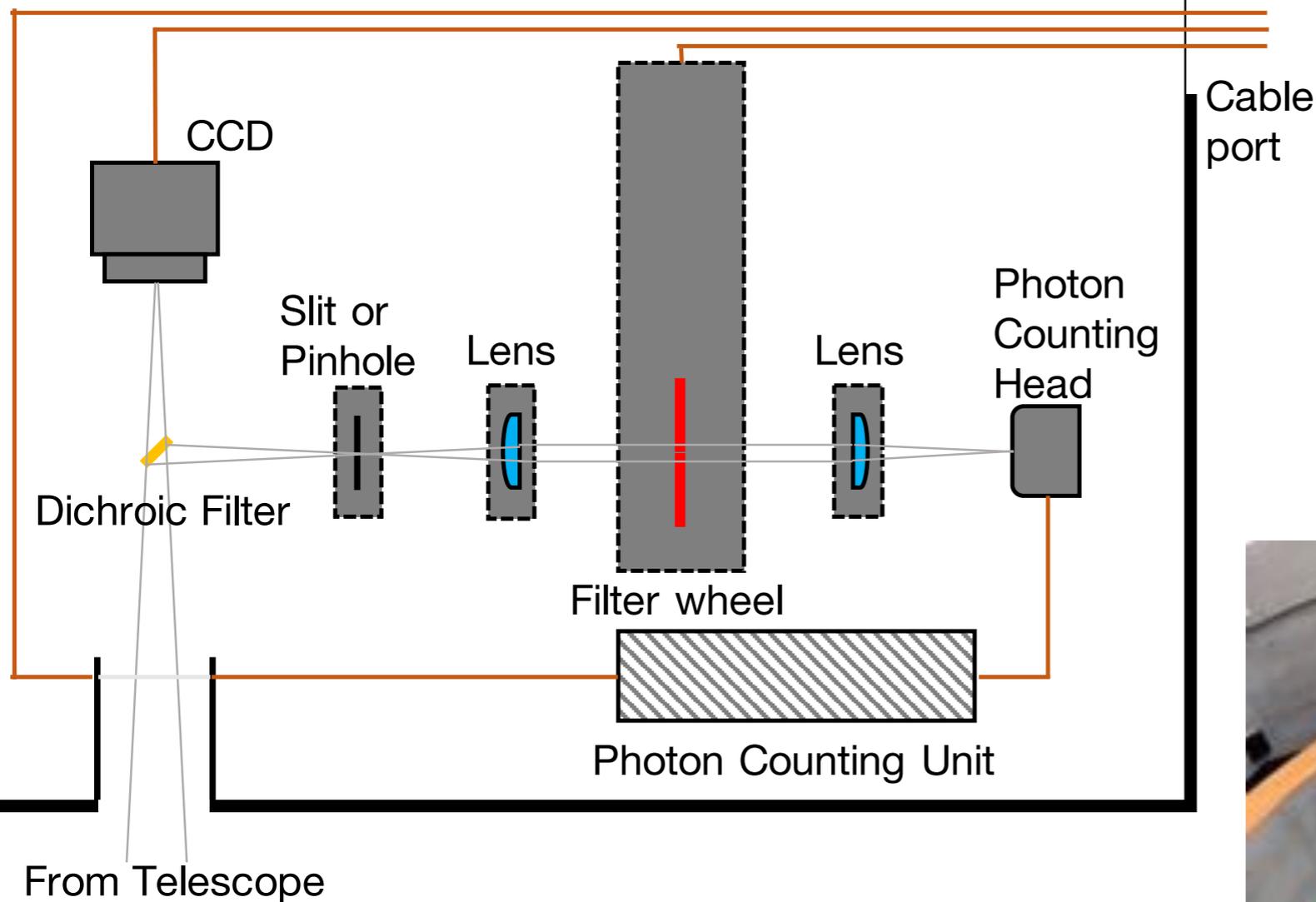
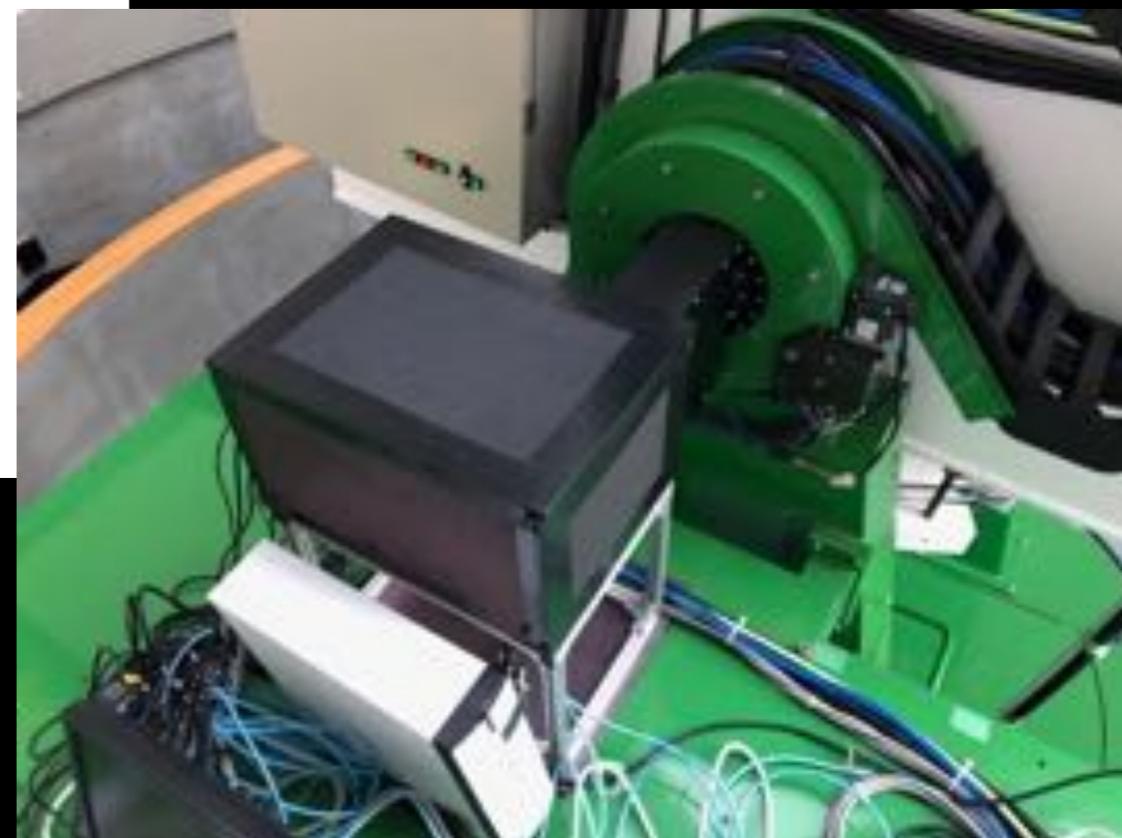


Fig. 6. PLDの光学系模式図. ダイクロイックフィルターでCCDと光電子増倍管に光を分配. コリメート用に片面凸レンズを1枚. 結像用に同じ片面凸レンズを1枚.

継続的な観測実施のために、
地上望遠鏡に搭載

Fig. 7. PLDの外観. 北海道大学所属1.6-mピリカ望遠鏡ナスミス焦点に設置.



データ解析

- 移動平均と移動中央値の利用
 - Skyや雲の変動の除去
 - 宇宙線など外れ値の除去
- 4σ の閾値を超える波形の有無を調査 (σ は最終的なデータから)

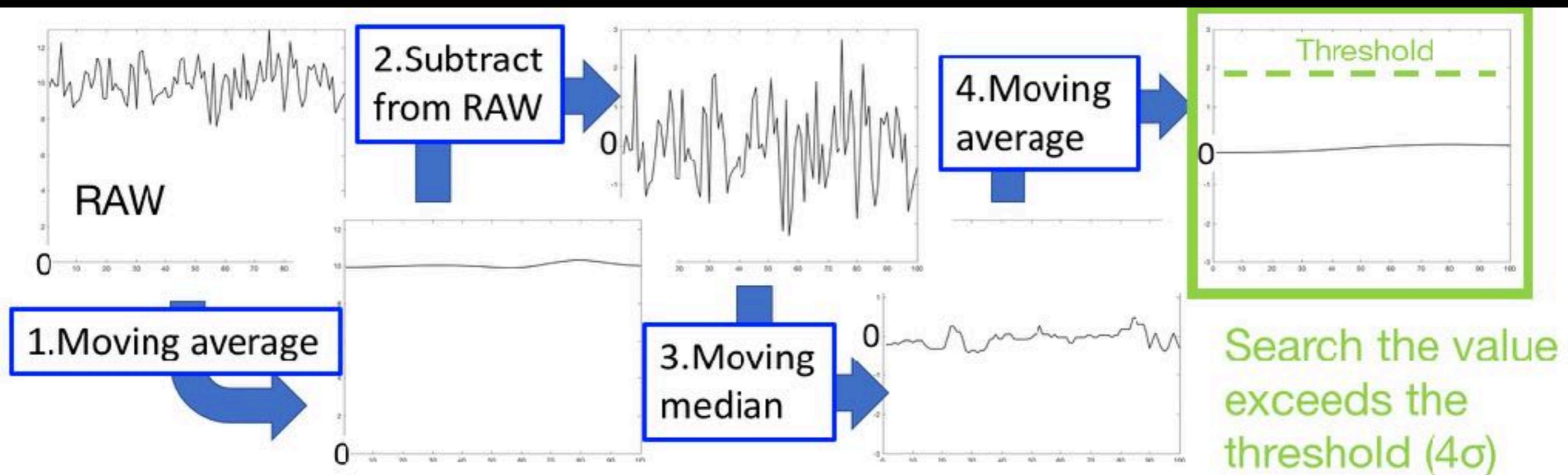


Fig. 8. PLD取得データの解析手順の模式図. 生データに移動平均, 生データから平均結果を引き算, 移動中央値を計算, 中央値の計算結果にさらに移動平均値を計算.

Future work

- ノイズ除去の改良
 - ノイズの振幅 ~
頻度の高い雷発光の放電の振幅
- 木星
 - ノイズの振幅 ~ 10^7 J
 - 木星雷発光 $10^5 - 10^{10}$ J
- 二つの光電子倍增管で観測して比較?
- 光電子倍增管とCCDの同期の精度向上
 - PCの状態で開始時間の差が変化
 - 十数m秒変化

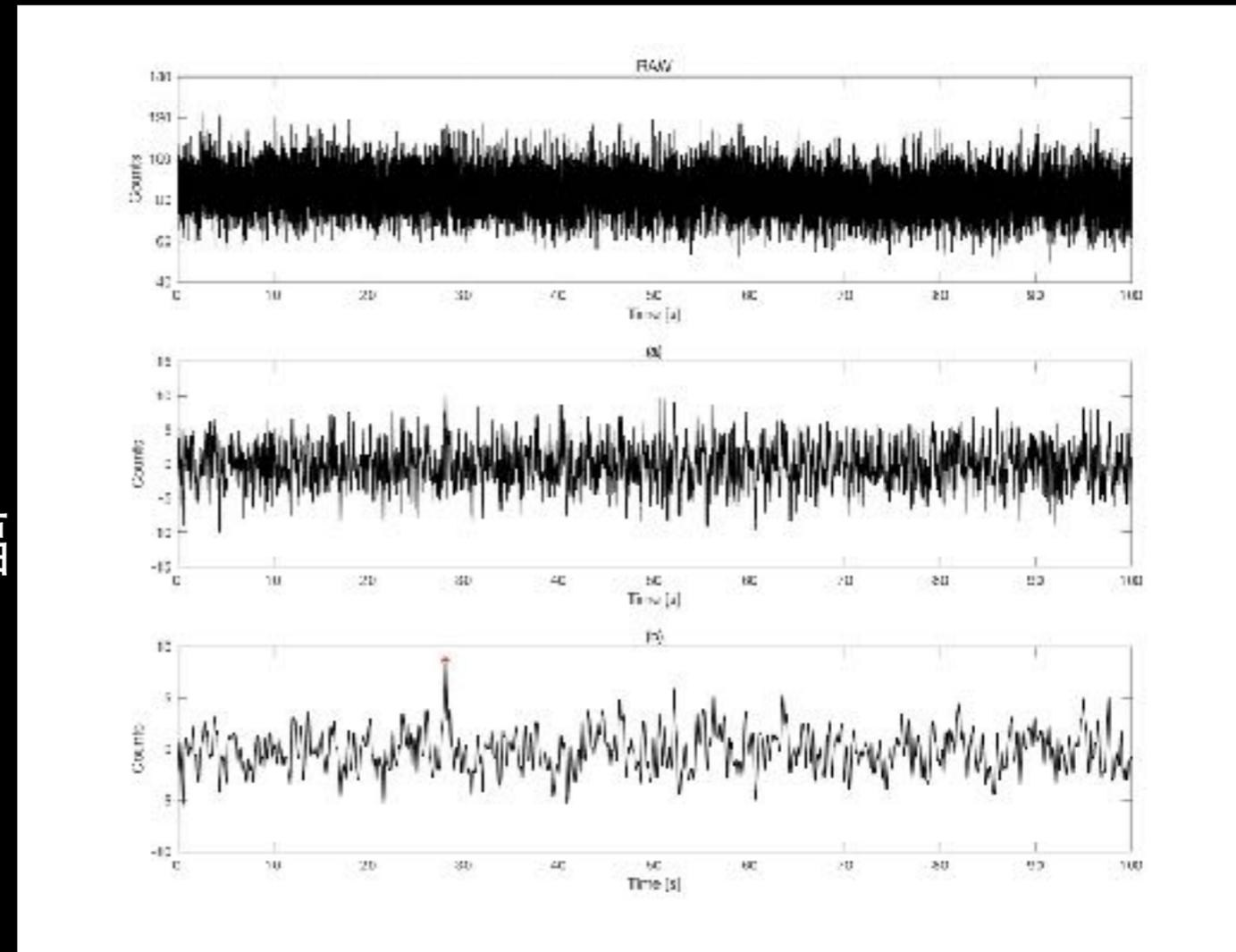
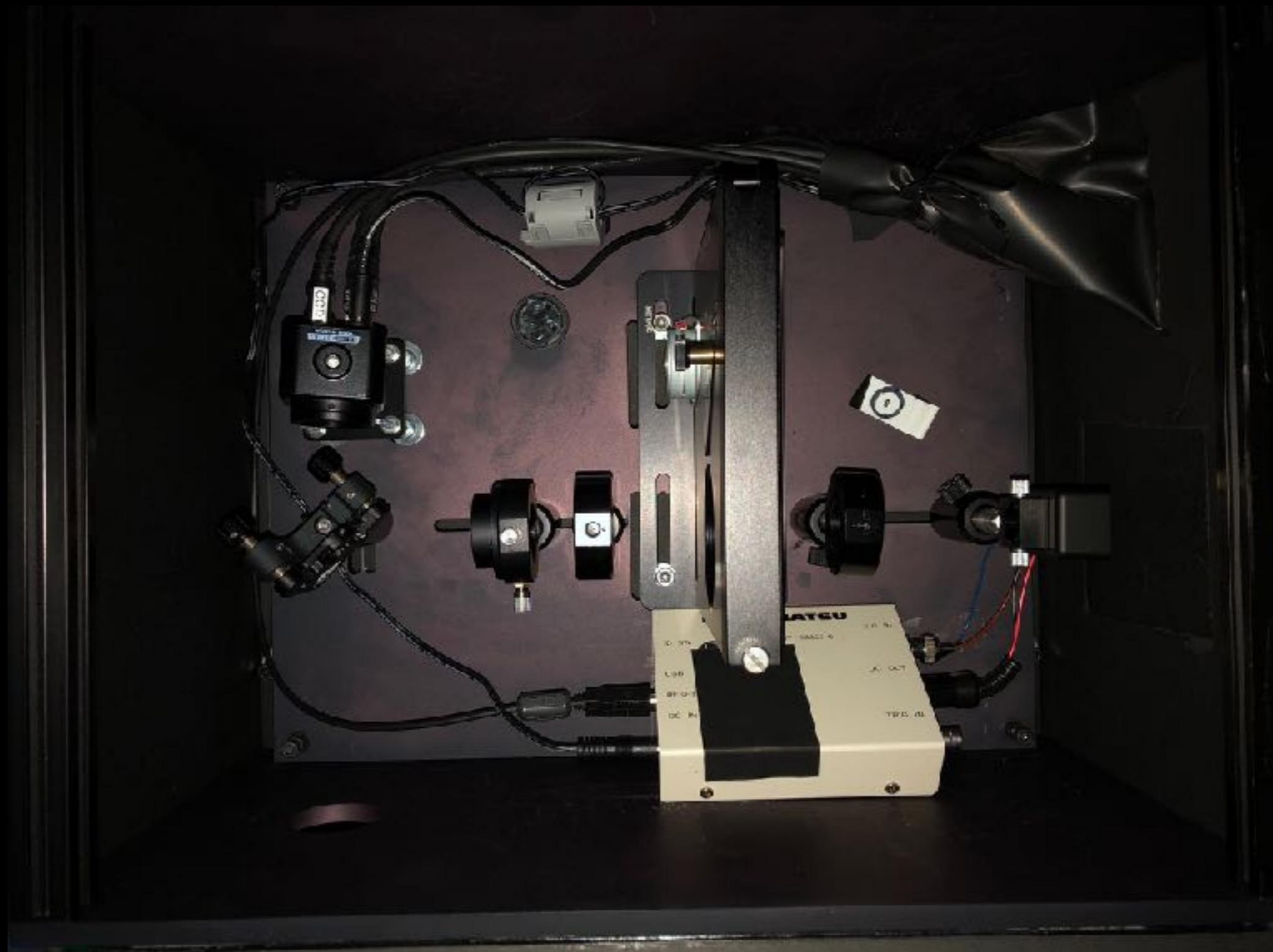


Fig. 9. PLDの波形一例(2020/05/14, 金星). (上) 生データ, (中央) (下) 移動平均の計算幅を変更して計算した結果.

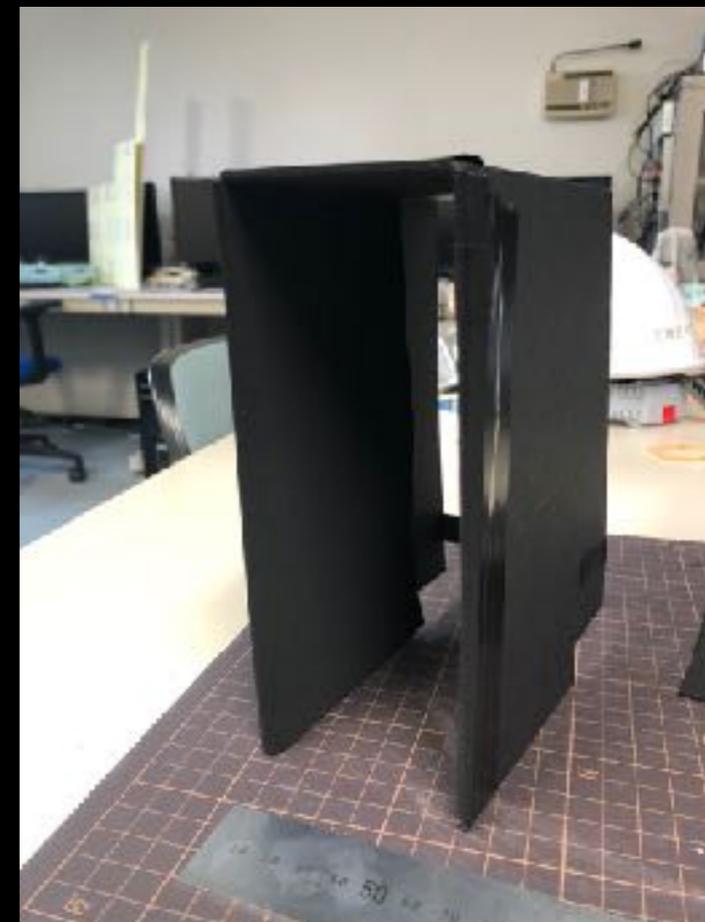
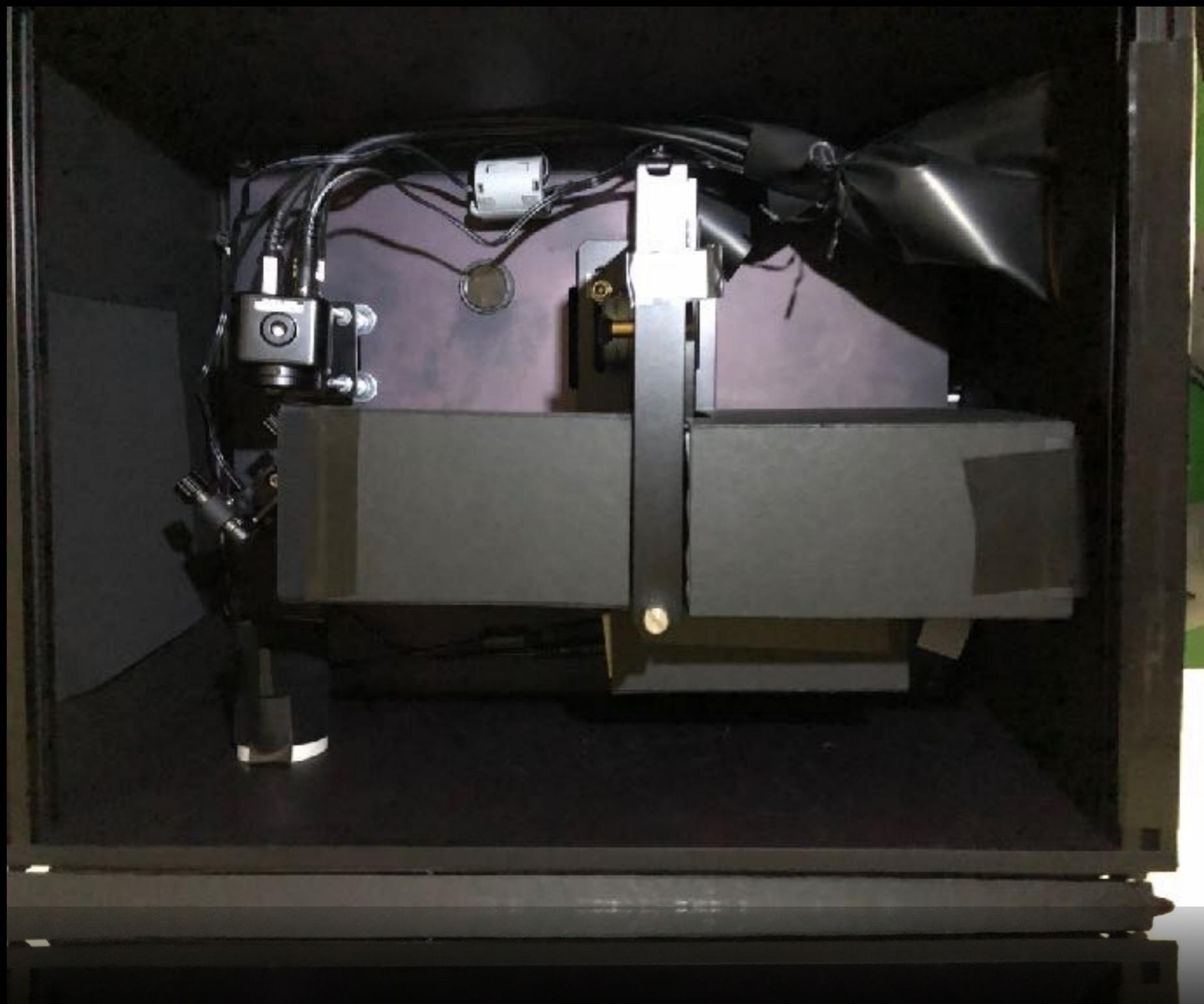
付録

- PLD内部 カバーなし



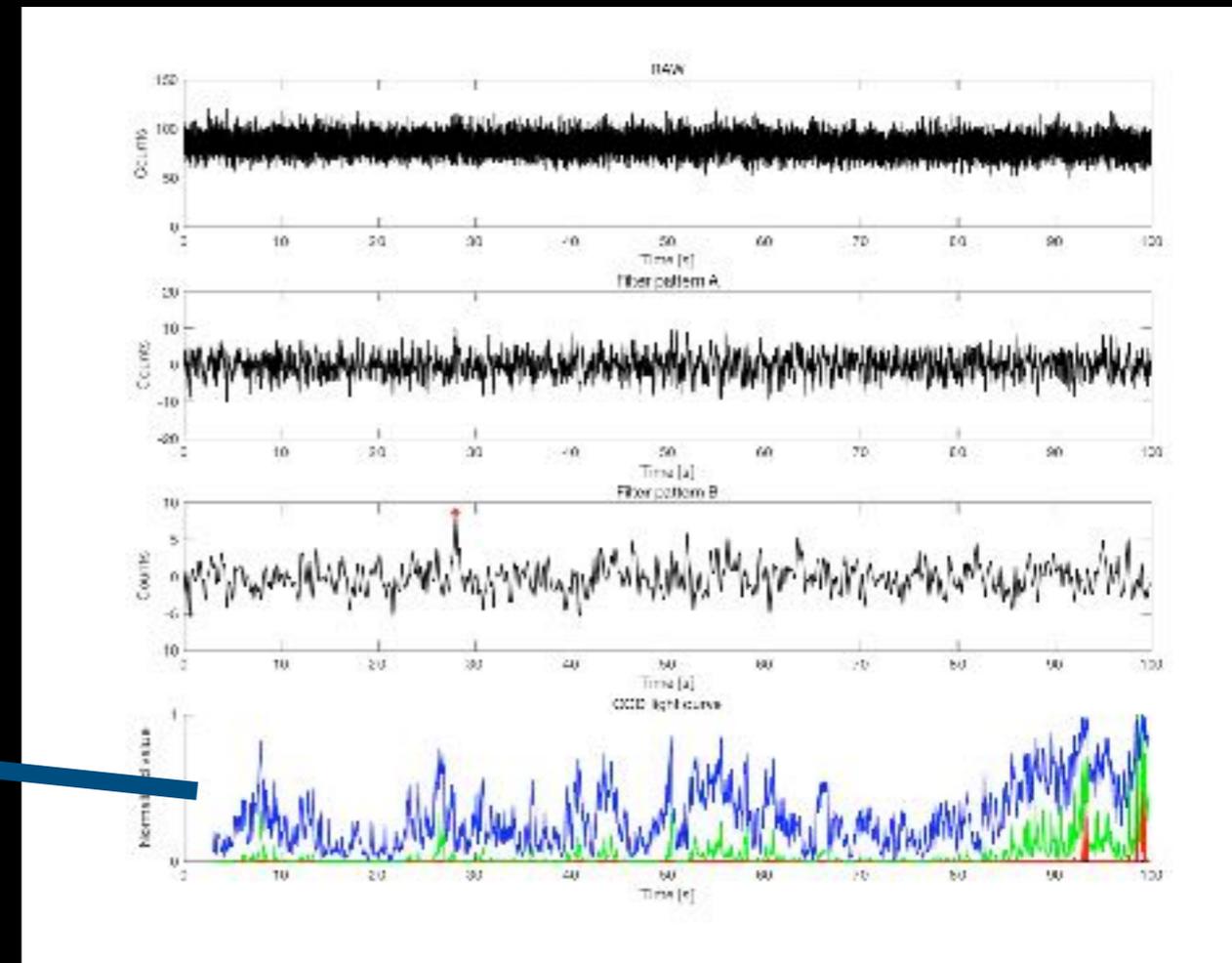
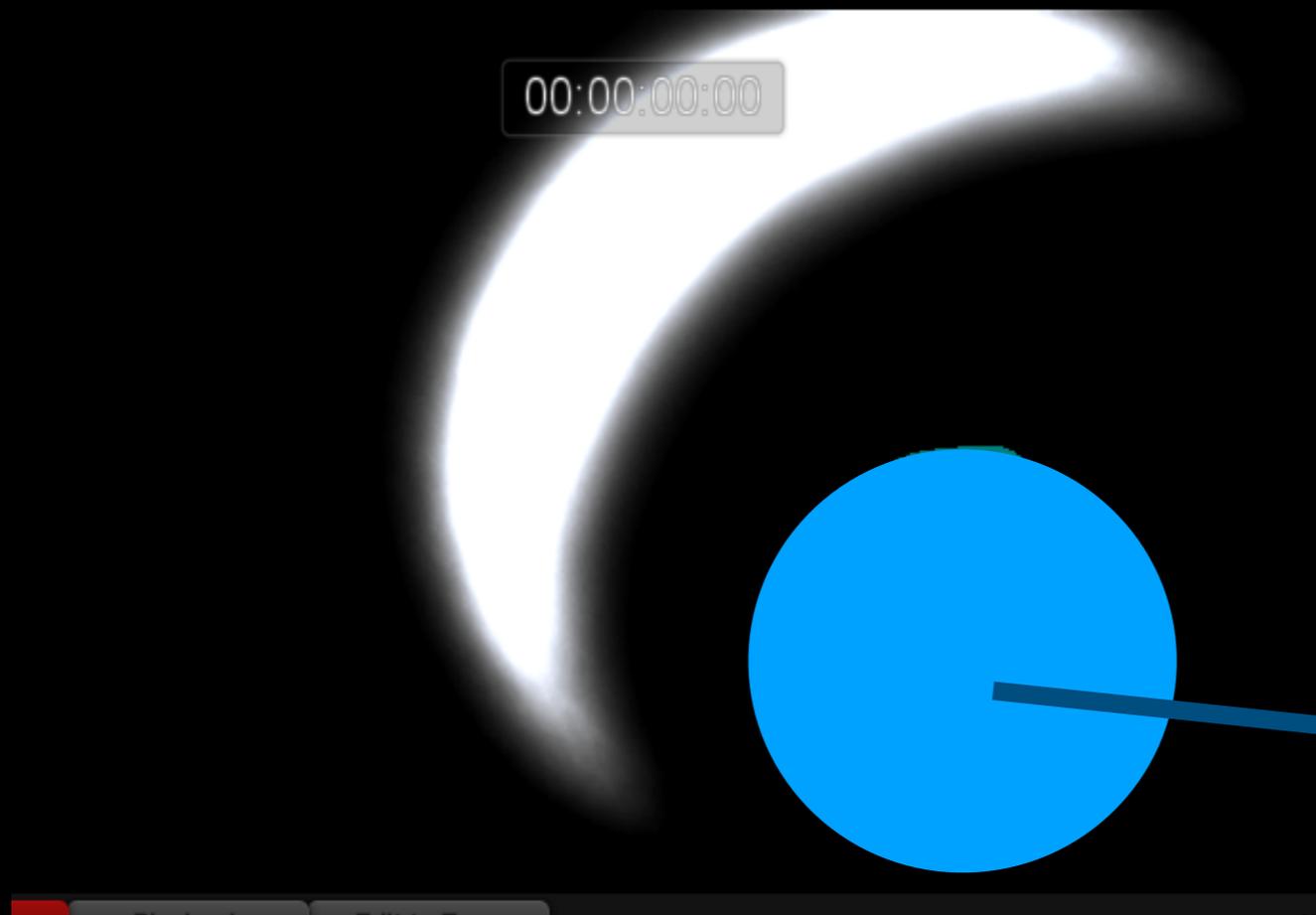
付録

- PLD カバーあり



付録

- CCD動画(抜粋)とPMT視野(青丸)

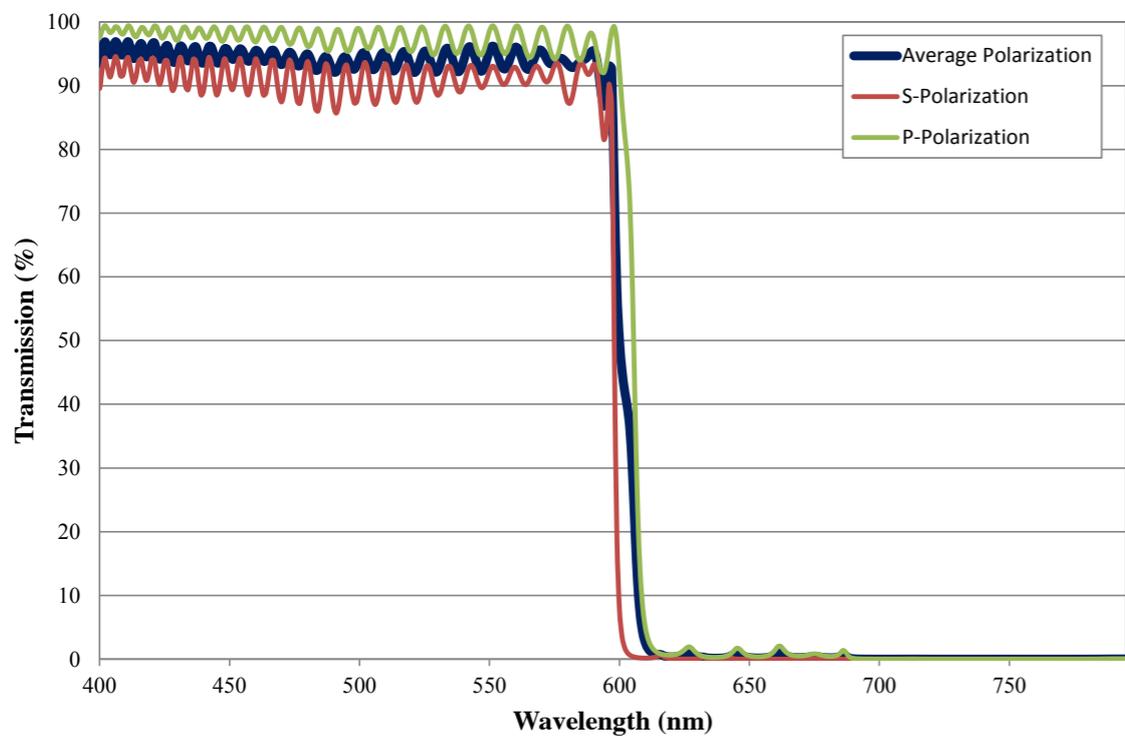


付録

Coating Curve

Edmund Optics Inc.
USA | Asia | Europe

600nm Dichroic Shortpass Filter FOR REFERENCE ONLY



EO Edmund
optics | w
www.edmundoptics.

図. PMT sensitivity

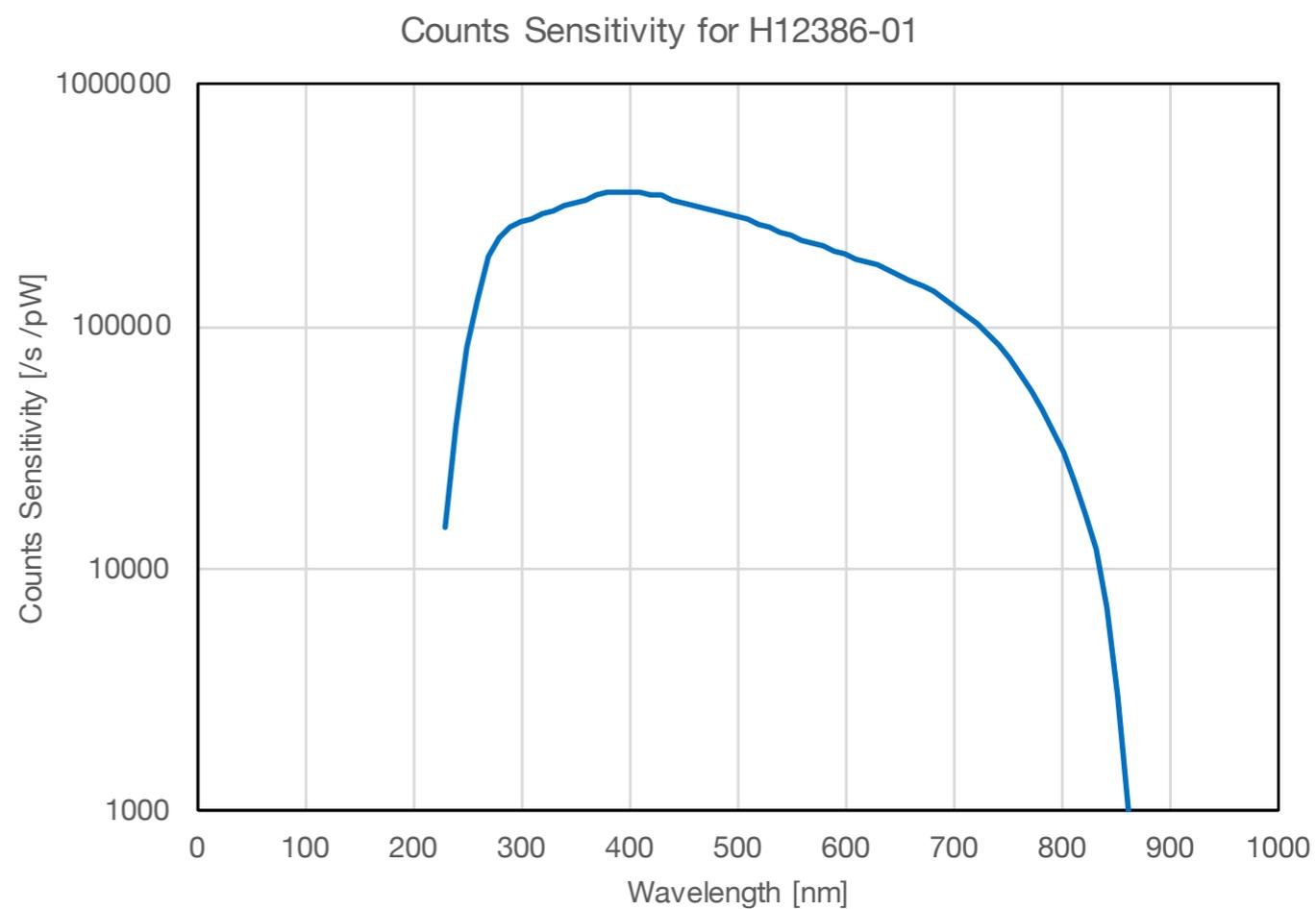


図. ダイクロイックフィルターライトカーブ