

せいめい望遠鏡可視3色同時CMOS カメラTriCCSの絶対時刻精度の評価

東京大学理学部天文学科 4年 西野耀平

酒向 重行, 大澤 亮, 瀧田 怜, 紅山 仁, 土居 守 (東京大学)

太田耕司, 前田啓一, 松林和也, 川端美穂 (京都大学)

可視高速観測と同時観測の重要性

秒スケールの時間変動

- ・ブラックホール連星、矮新星
- ・FRB可視光カウンターパート



多波長での同時観測が必要

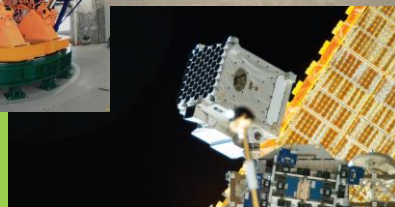
- ・可視光 - X線
- ・可視光 - 電波



3.8m せいめい望遠鏡
TriCCS

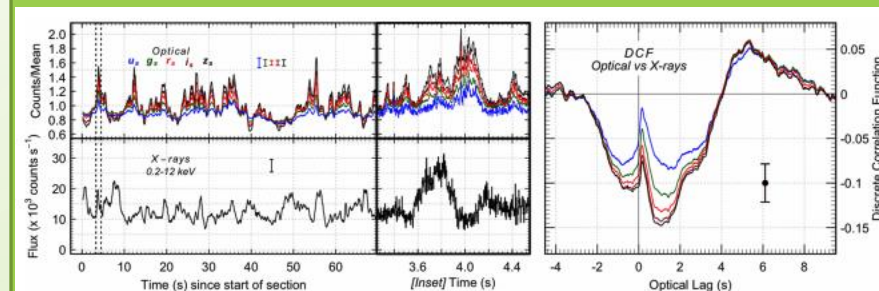


ALMA



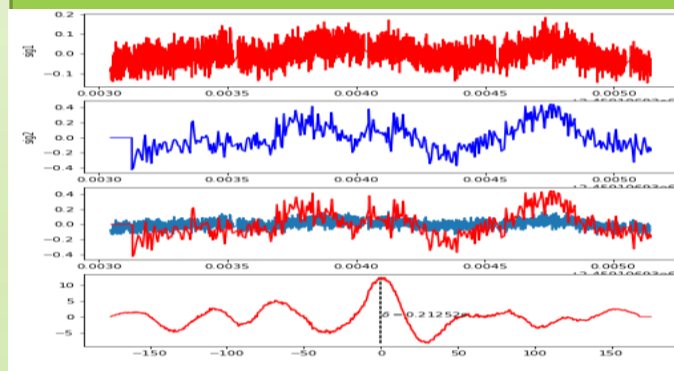
NICER

MAXI J1820 +070(HiPERCAM - NICER)



Paice+2019
Fig1

SS Cyg(Tomo-e - NICER)



西野ら(解析中)

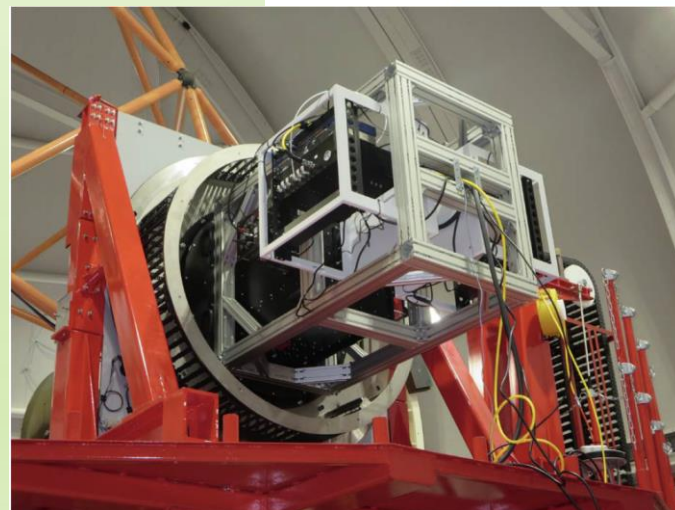
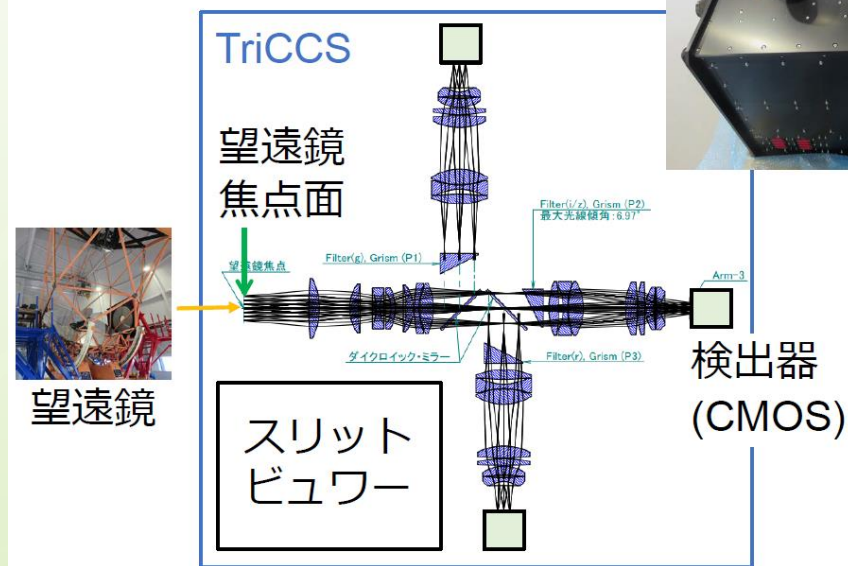
絶対時刻精度の確保が大切

1msec程度の絶対時刻精度が必要(検出されるフォトン数の制限)

せいめい望遠鏡TriCCS

- 可視光3色同時撮像CMOSカメラ
- 視野 6.4' x 11.3'
- g-, r-, i-バンド
- 1k x 2k CMOSセンサ（木曾Tomo-e Gozenと同型）
- 最速98 fps (全画素読み出し)
- GPSで時刻同期(フレーム内に埋め込み)

光学系概念図 (TriCCS単体)



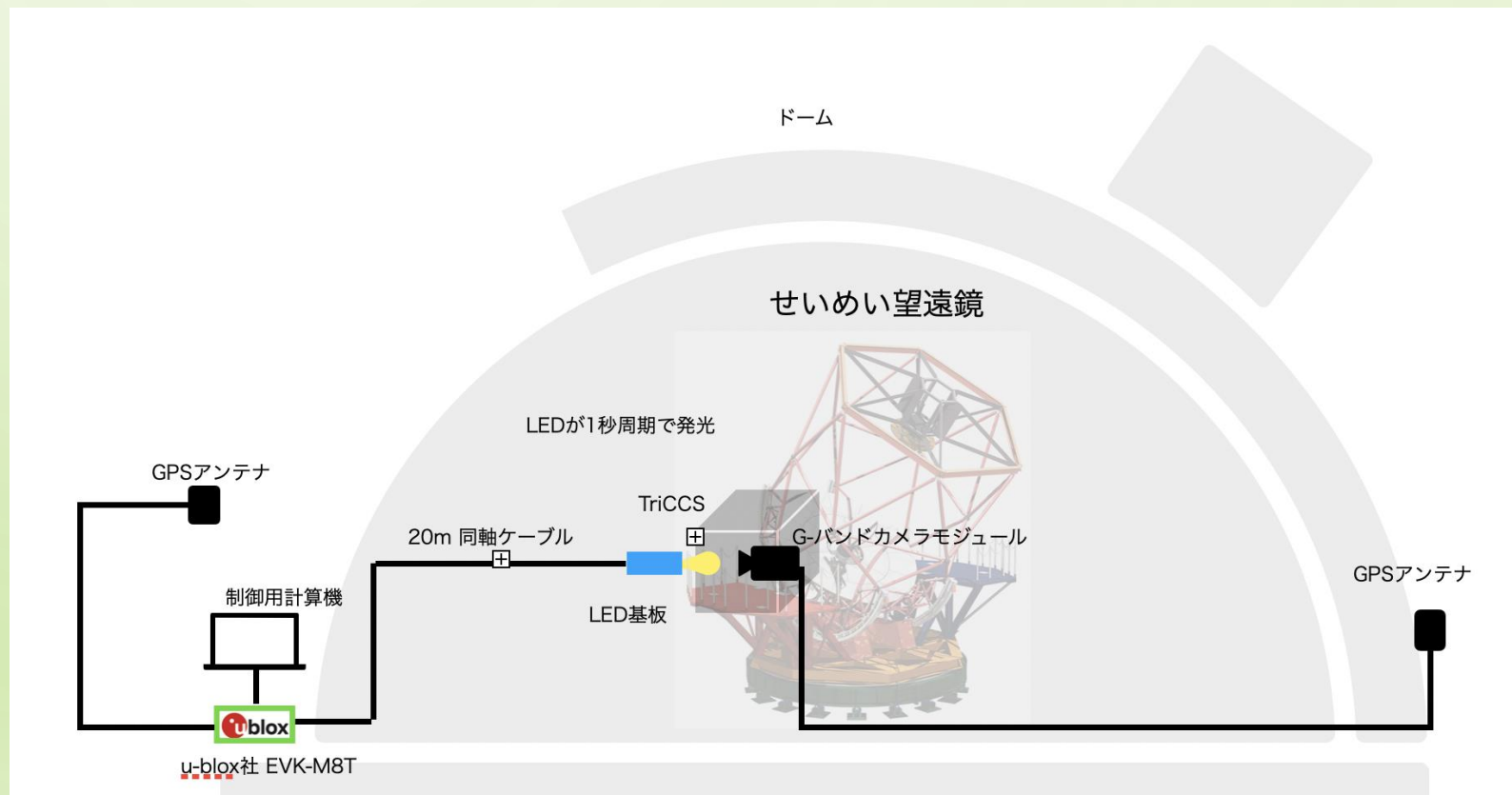
本研究の目的

- TriCCSによる高速同時観測に不可欠な絶対時刻精度を評価する

評価の方法

独立した1PPS GPS受信機に同期したLEDで発光させて光信号として検出し、発光のタイミングをTriCCSの時刻で評価する。

1PPS = 毎整数秒にパルスを出力



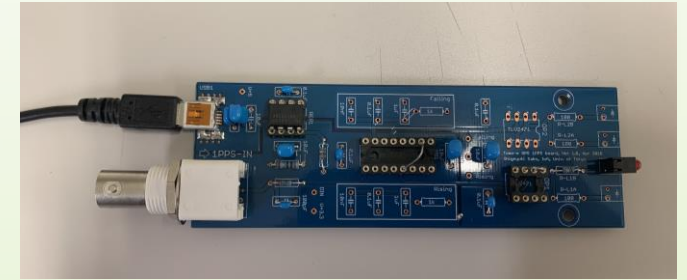
LED発光回路

システムの構成

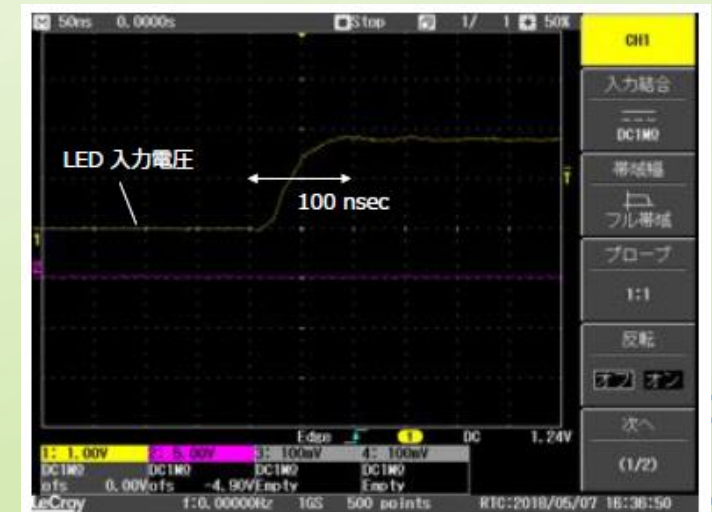
- 市販のGPS受信機(u-blox社 EVK-M8T)で1PPS信号を生成
- 1PPS信号に同期して発光するLED回路を製作
- 赤色LED

システムの評価

- LEDの駆動電圧の立ち上がり時間は $0.1\mu\text{sec}$ 以下
- 基板回路内の遅れも $0.1\mu\text{sec}$ 以下
- GPS受信機と基板間(20m)の遅延時間は $0.2\mu\text{sec}$ 以下(計算で推定)
- GPS受信機(EVK-M8T)の絶対時刻精度 不明 (GPSの典型値 $0.1\mu\text{sec}$ 以下)
→本測定によるLED発光の絶対時刻の不定性はおおよそ $1\mu\text{sec}$ 以下



LED基板の写真。右端がLED



LEDの立ち上がり時刻をオシロスコープで確認した際の画像

測定のセットアップ

CMOSカメラモジュール

- gバンドポートに設置
- ダーク環境下
- 98fpsで1000フレームを連続取得

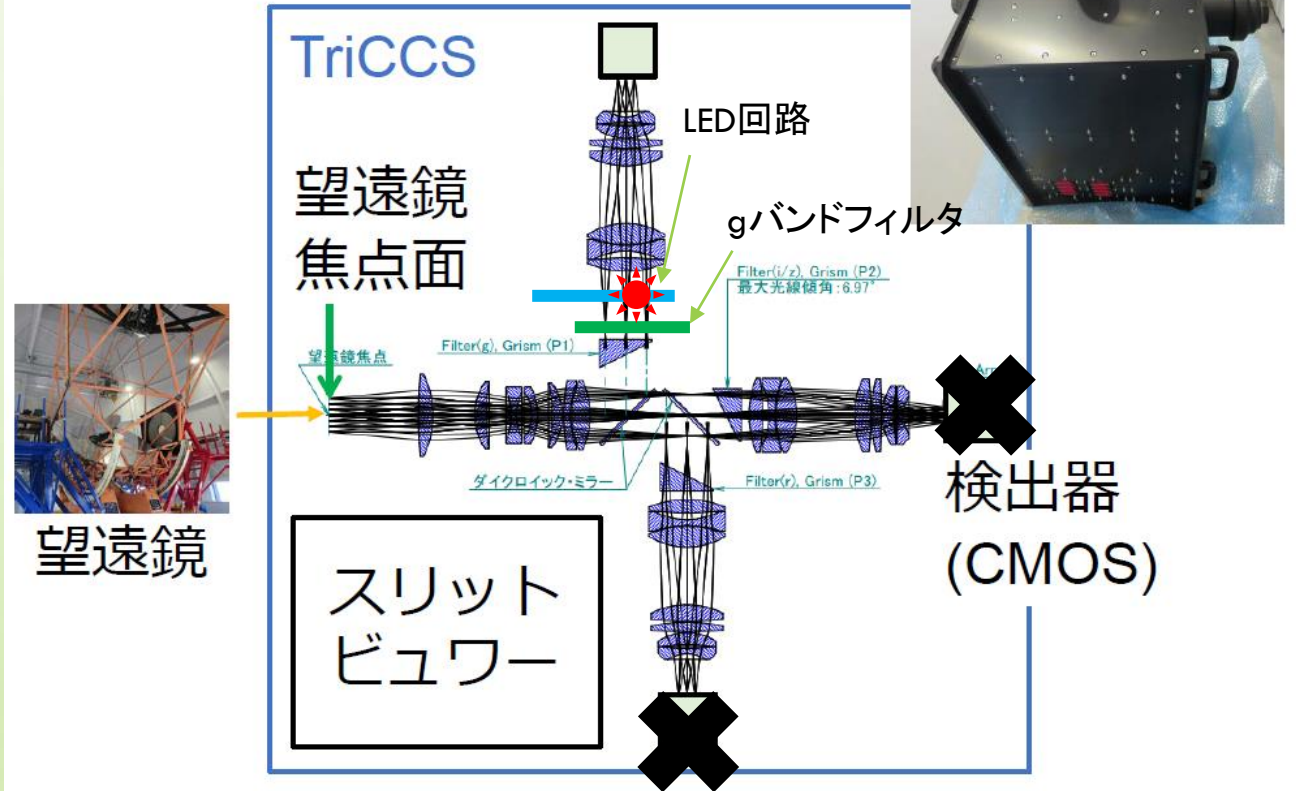
LED回路用GPSアンテナ

- ドームの屋外
- CMOSカメラモジュールのGPSアンテナの隣に設置

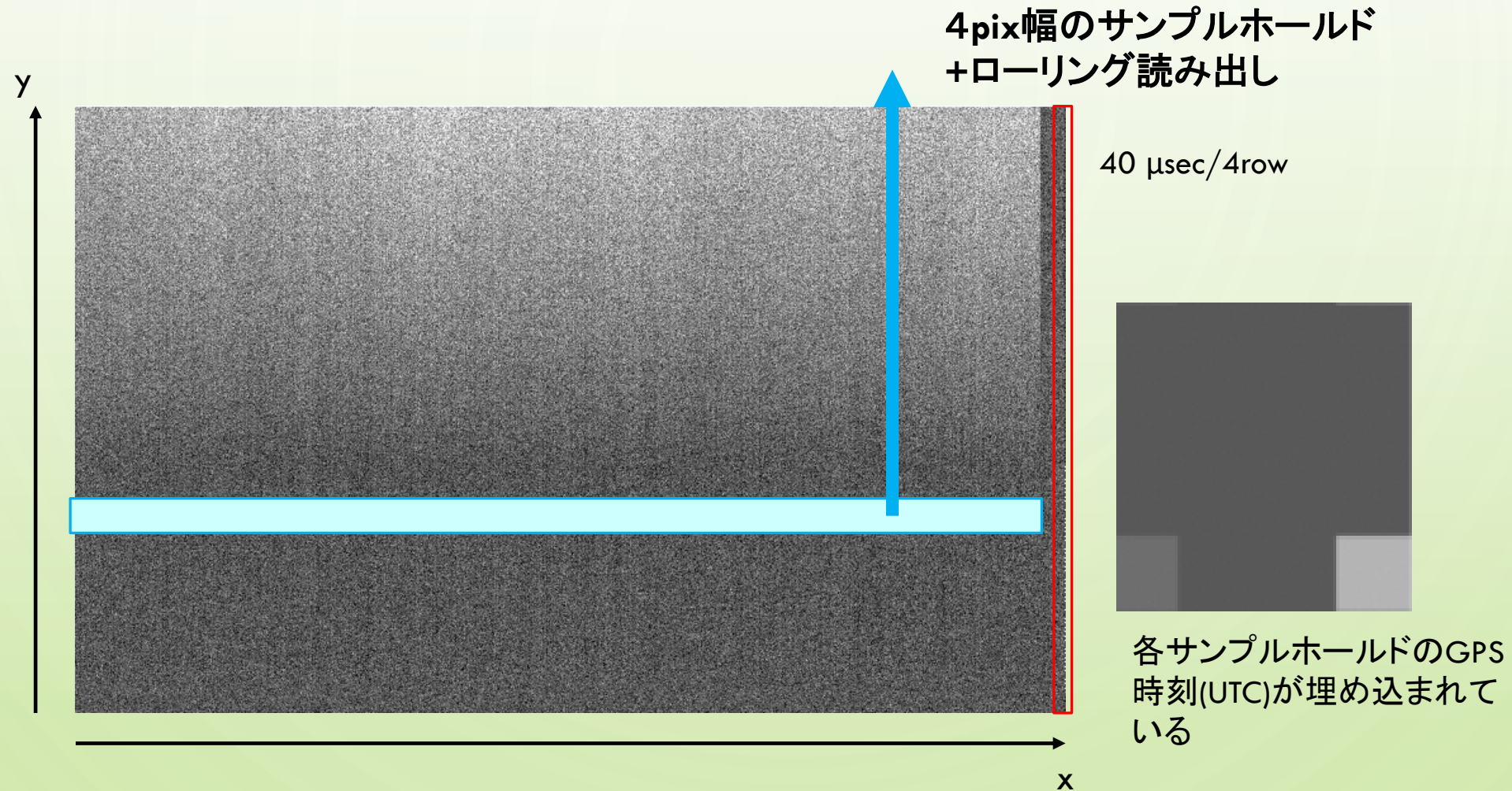
LED回路

- CMOSカメラモジュールの直前 (gバンドフィルタの影響を避けるため)
- 発光間隔 1.000s、duty比=50%で点滅

光学系概念図 (TriCCS単体)

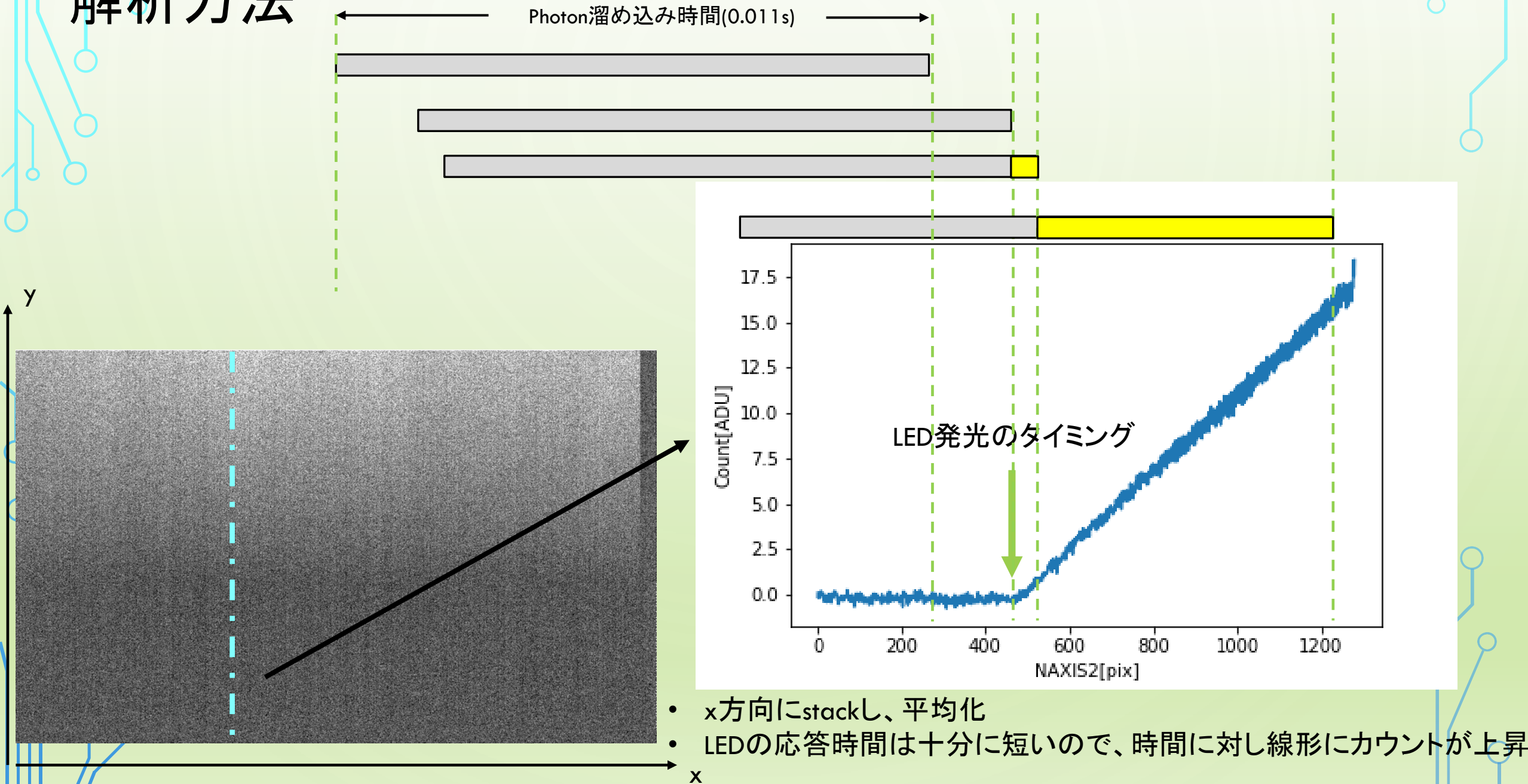


CMOSセンサの読み出しの仕組み



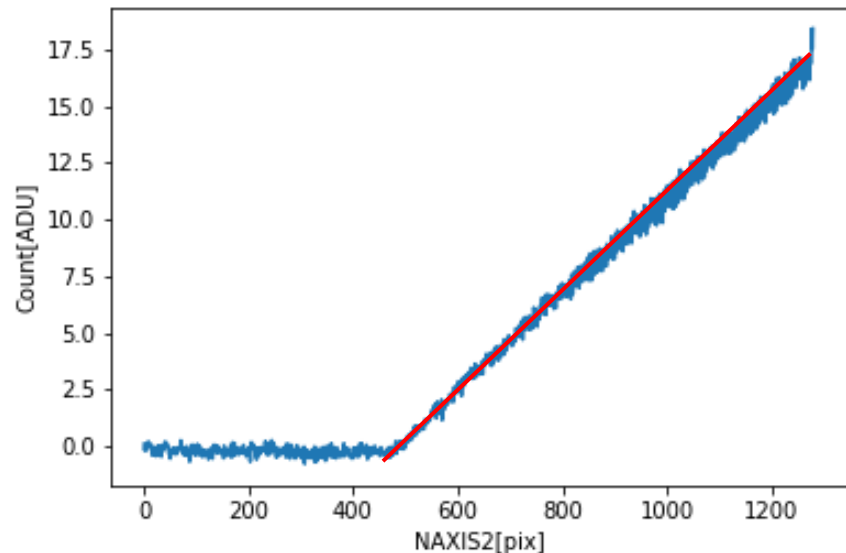
- 1ppsのLED点滅が入射した場合、各フレームに1.000sおきのカウントの立ち上がりが見える

解析方法

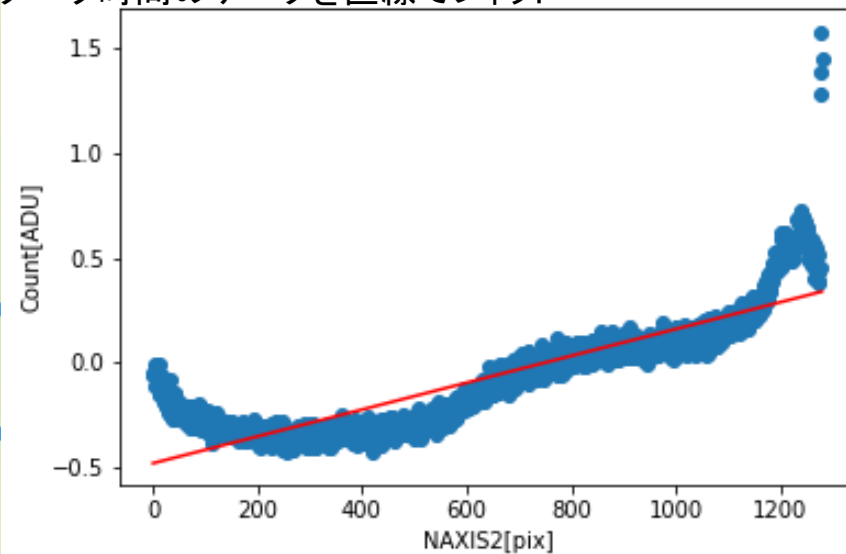


絶対時刻の導出

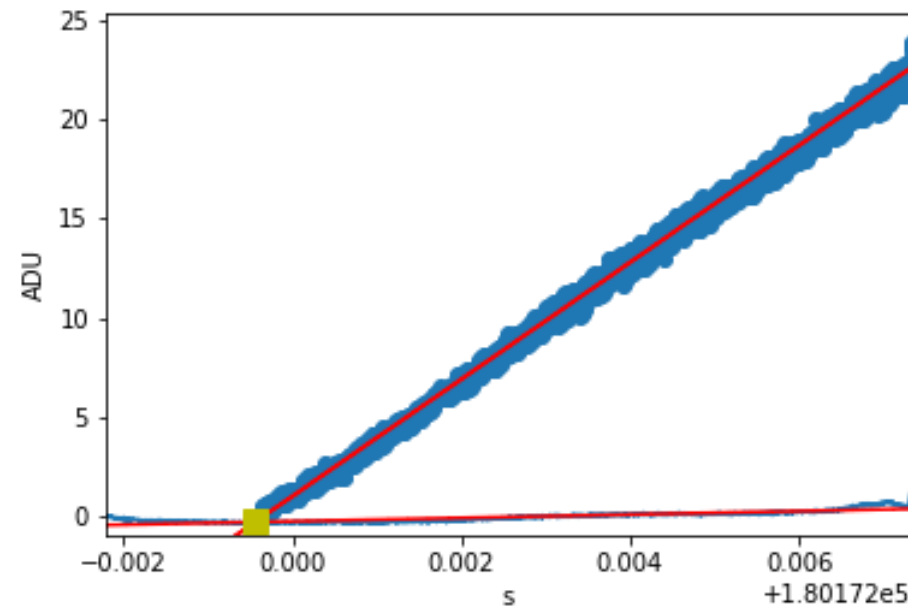
立ち上がり部分を直線でフィット



ダーク時間のデータを直線でフィット



交点から、時刻情報を読み取る。

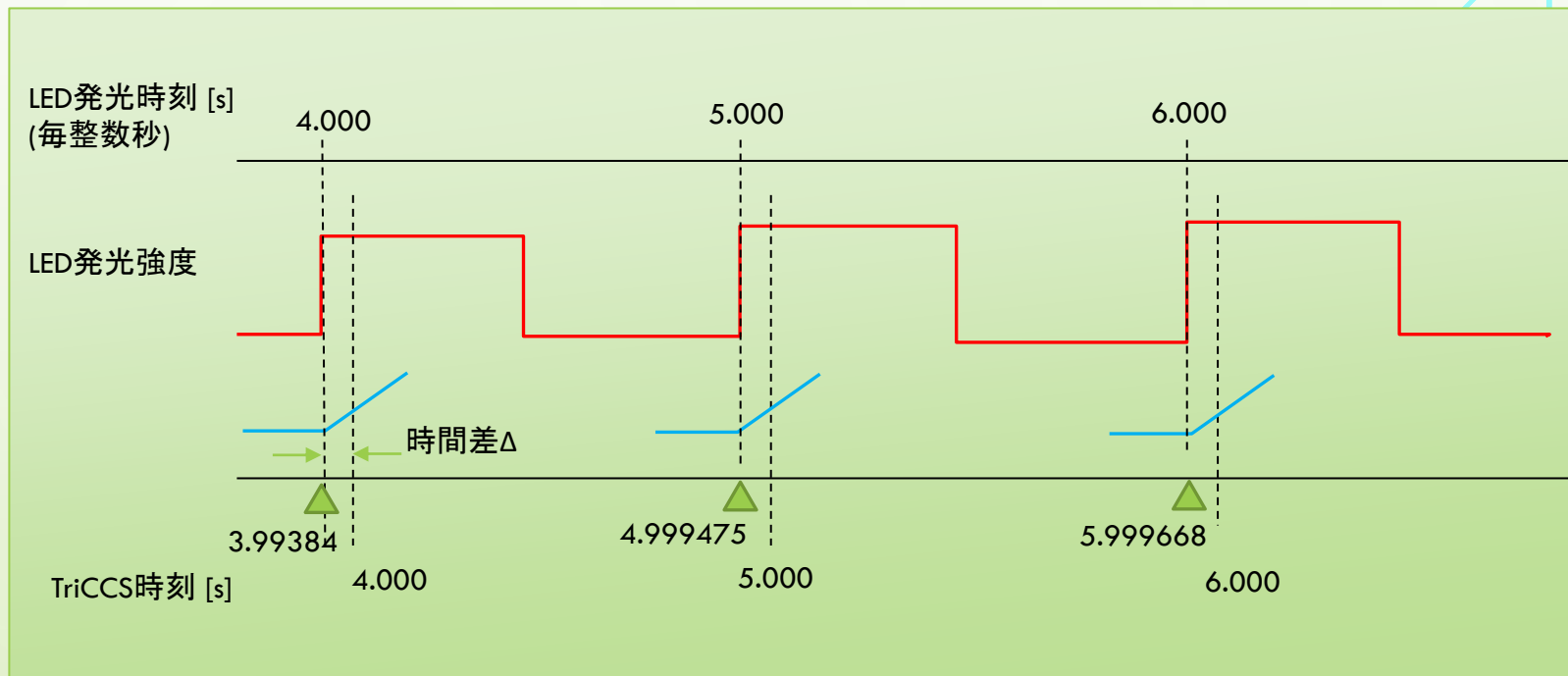


■ = 立ち上がり時刻

結果

9セットの測定例

LED発光のTriCCS時刻(s)	TriCCS整数秒時刻との時間差(s)
180163.999384	0.000616
180164.999475	0.000525
180165.999668	0.000332
180166.999446	0.000554
180167.999432	0.000568
180168.999597	0.000403
180169.999403	0.000597
180170.999389	0.000611
180171.999554	0.000446



測定された時間差Δ

$$\Delta = +517 [\mu\text{sec}] (1\sigma = 101 \mu\text{sec}, N=9)$$

TriCCSの時刻システムが500μsec遅れている

考察

- 500 μ secの時間差の原因

1. CMOSカメラモジュールの時計が500 μ sec遅れている？
2. LED発光用GPS受信機の1PPSが500 μ sec早い？ $\longrightarrow$ より高精度のGPS受信機の1PPS信号と比較(今後の課題)

- 100 μ secの繰り返し測定誤差の原因

1. CMOSカメラモジュールの時計の精度？
2. LED発光用GPS受信機の精度？ $\longrightarrow$ より高精度のGPS受信機の1PPS信号と比較(今後の課題)

- 実際の天体観測への影響

- 500 μ secの遅れが環境・時間安定しているか？(今後の課題)
- 遅れが安定していれば、天体観測からの要求(精度1msec)を実現している

まとめ

- 可視高速観測と同時観測には絶対時刻精度1 msecの確保が大切
- TriCCSのgバンドカメラモジュールのGPS時刻を、独立したGPSを用いて評価
- 画像内に埋め込まれた時刻情報でLEDの立ち上がりを測定
- 絶対時刻精度には $+517 \pm 101 \mu\text{sec}$ の時間差を確認

今後の課題

- より高精度なGPS受信機との比較
- ラグの環境、時間安定性の評価