

第 5 章

観測概要

5.1 観測機材

5.1.1 機材概要

LED 受光実験に用いる機材を示す。その中でも光電子増倍管は本実験特有の機材で、微細な光を信号として捉えることができる。

5.1.2 機材一覧

観測に用いる機材を検討・評価し、その上で実際の観測に用いた。

5.1.2.1 GPS モジュール

LED を受光するためには都市光を避けるため外部に観測に行くことが考えられた。そこで問題になるのは、自己位置を推定しなければならない。特に軌道計算ソフトは観測場所によって大きく変わるため精度が高くならなければならず、ネット回線が皆無の可能性があるのでネット回線に依存せず自己完結ができるアライメント方法ということで、GPS モジュールを用いた。GPS モジュールは CANMORE 社から発売されている GT-720F を用いた(図 5.1)。また、精度はメーカー仕様では 5m 以内となっていたが、福工大屋上や C 棟 4 階で調べたところ、空を遮る遮蔽物さえなければ概ね 5m 以内の精度となった。

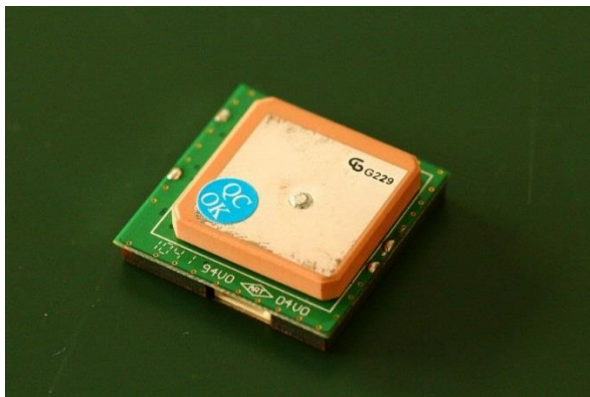


図 5.1 GPS モジュール

5.1.2.2 ステラナビゲーター9

観測機材の 0 点だしを行うために天体を用いて評価を行った。天体の位置情報についてはステラナビゲーター9 により座標の確認を行った。ステラナビゲーター9 は市販されている天体シミュレーションソフトウェアである(図 5.2 参照)。本年度はそれまで国立天文台から天体の座標を入手していたが、ネット回線がなければ使えないという制限があった。一方でステラナビゲーター9 は制限がなく、GPS モジュールと組み合わせることでいかなる場所でも天体の座標を入手することができる。このことは外部で観測する上で非常に有益だと考え、評価を行った。評価方法は、同位置・同時間に見える天体の位置が国立天文台とステラナビゲーター9 と同一であるかを調べ、実際に天体観測を行い望遠鏡の中心部とどれだけ合致するかというものである。用いたカメラは Canon EOS Kiss X5 で、レンズは焦点距離 1200mm のものを用いた。撮った写真は図 5.3 となり、星とのズレは 0.1 度と許容範囲内であったため、ステラナビゲーター9 を観測機材として導入した。

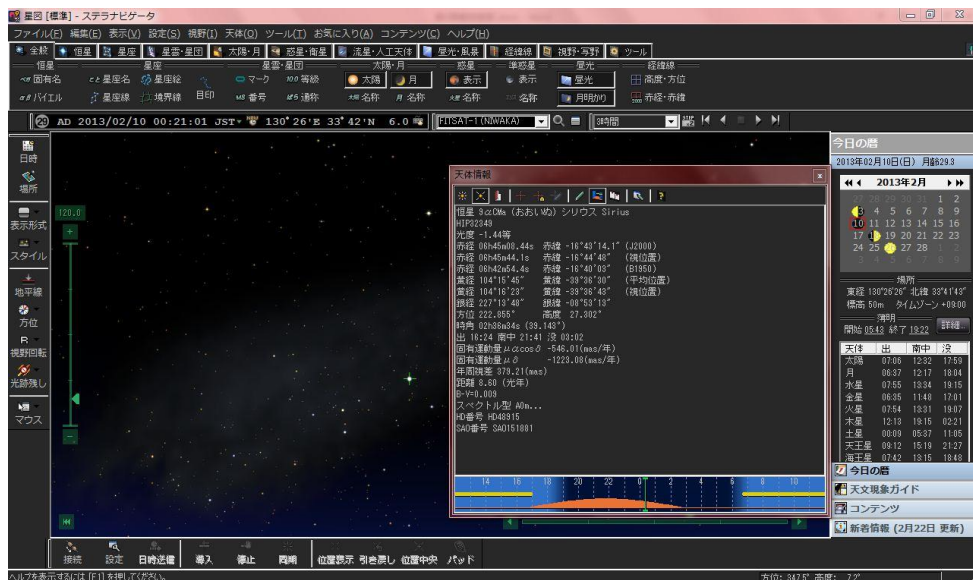


図 5.2 ステラナビゲーター9

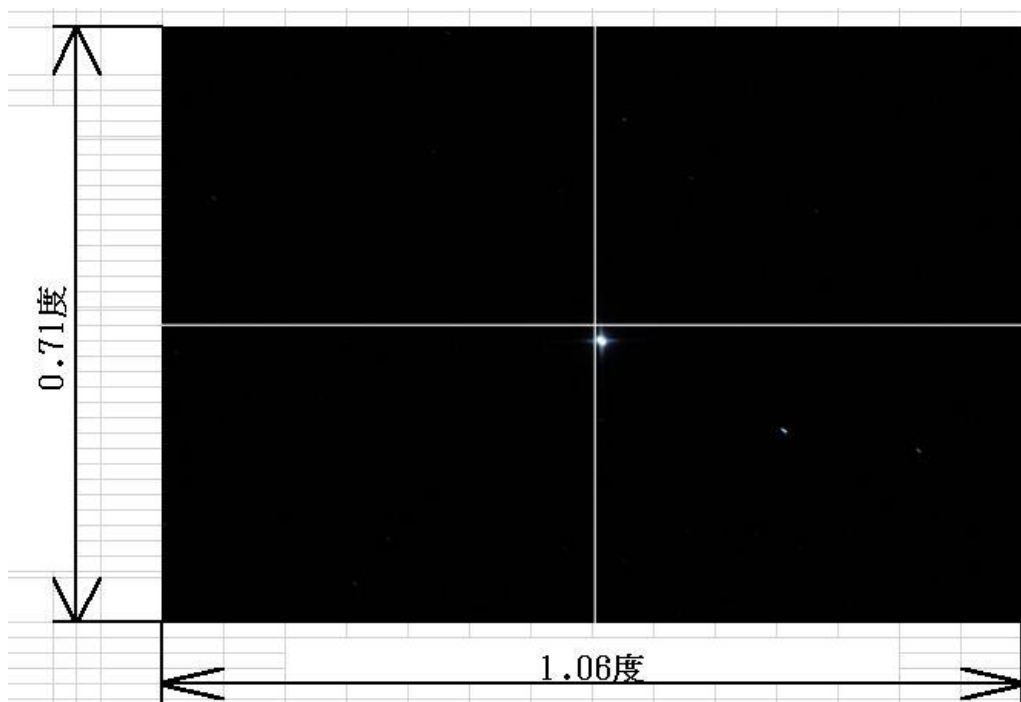


図 5.3 シリウス(恒星)の写真

福岡工業大学 C 棟屋上 Canon EOS Kiss X5, f=1200mm, ISO1600, SS1 で撮影

5.1.2.3 経緯台

経緯台と呼ばれる X, Y 軸それぞれ 360 度ずつ回転するものである(図 5.4 参照)。本プロジェクトにおいては高速画像受信実験と LED 実験の土台として用いる重要な機材である。実験時にはアライメントの精度が成功の可否を担っていても過言ではない。



図 5.4 経緯台

5.1.2.4 望遠鏡(SE250N)

LED 受光実験に使用している焦点距離 1200mm, 口径 254mm というニュートン式反射望遠鏡望鏡である。アライメント時はカメラ, LED 受光時には光電子増倍管を装着している。比較的安価な望遠鏡のため光学性能としては周辺減光が大きくまた歪曲が大きい。



図 5.5 ニュートン式反射望遠鏡

5.1.2.5 カメラ(EOS Kiss X6i)

アライメントと LED 受光の撮影に用いている。最高 ISO 感度 12800 の APS-C サイズのデジタル一眼カメラを使用している。エントリーモデルということもありアライメントに関しては問題ない

が、撮影に関しては高感度ノイズが酷いため難しいと考えられる。



図 5.6 カメラ

5.1.2.6 光電子増倍管(H6410)

光エネルギーを増倍して電気エネルギーに変換する高感度光検出器であり光信号検出に使用した。定格のゲインは 2[kV]，陰極感度 112[μ A/1m]，陽極感度 547[A/1m]，感度波長範囲 300~650[nm] 陽極暗電流は 15[nA](抵抗 1[M Ω]，電圧 15[mV])，有効径 Φ 46[mm]である。

今回の実験では、光電面の縁に金属が触れると暗電流が上昇し、実験不可になるという問題が発生した。その為その間にテフロンを入れることにより、定格の暗電流で実験を行うことができた。



図 5.7 テフロンと光電子増倍管

5.1.2.7 スコープコーダー(DL850)

瞬時の現象を捕捉するオシロスコープ，長時間におよぶトレンドを把握するデータレコーダ，この2つの機能を併せ持つ測定器である。今回使用したモジュールは，最高サンプルレート 10MS/s 分解能 12ビット，チャンネル数 2CH となっている。今回の実験に置いては，1 秒間 1M サンプルングで使用した。



図 5.8 スコープコーダー

5.1.2.8 Xviewer

スコープコーダーDL850用の波形解析ソフトであり、光信号の確認、高速フーリエ変換、データ形式の変更などで使用した。

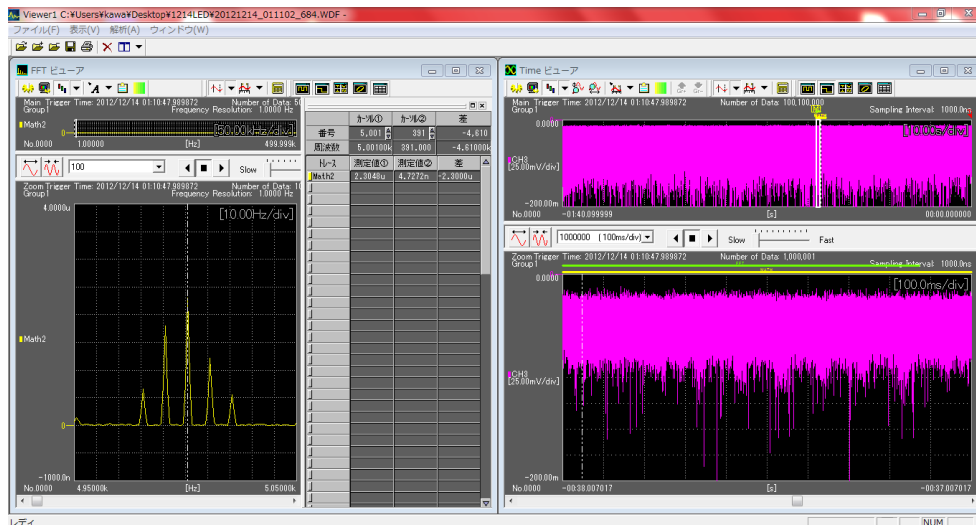


図 5.9 Xviewer

5.2 アライメント

5.2.1 アライメント概要

アライメントとは観測機材の仰角と方位角の0点出しを行うということである。特に本研究においては視野角の狭い機材で衛星を観測するため、精度よく合わせる事が重要となる。

5.2.2 アライメントを行うまでに

アライメントを行う前に Two-line elements (TLE) という衛星の軌道情報を入手する必要がある。TLE は北アメリカ航空宇宙防衛司令部 (NORAD) から無料で提供されており各種機関で利用され

ている。また、TLE は精度上、衛星位置から 1 km 以上誤差があり、高度 400km を飛行している FITASAT-1 においては 0.15 度以上の誤差があり、また更新頻度も 1 日 1 回程度となっている。

5.2.2.1 TLE の入手方法

これまでは CelesTrak というサイトを通して TLE を入手していたが、国際宇宙ステーション(ISS) など重要性の高い衛星はともかく、FITASAT-1 など重要性の低い衛星の TLE の更新頻度が低いことが考えられた。そのため Space-Track を経由して TLE を入手することで、より新しい TLE を入手することができた。



図 5.10 Space-Track

5.2.2.2 軌道計算ソフトの評価

これまではプロジェクト全体の方針として CalSat32 というフリーの軌道計算ソフトを使用していた。しかしながら、ISS を用いて精度実験をしたところ誤差が 1 度程度となり許容出来るものではなかった。そこで Orbitron という軌道計算ソフトが衛星の等級換算から行えたことから視野範囲の狭い望遠鏡での観測に向くのではないかと考え試験導入した。精度の実験は CalSat32 の精度実験と同じく ISS を用いたところ 0.5 度程度のズレ、TLE が新しければ 0.1 度程度のズレと精度が大変向上したため Orbitron を正式に導入した。



図 5.11 CalSat32 の表示画面

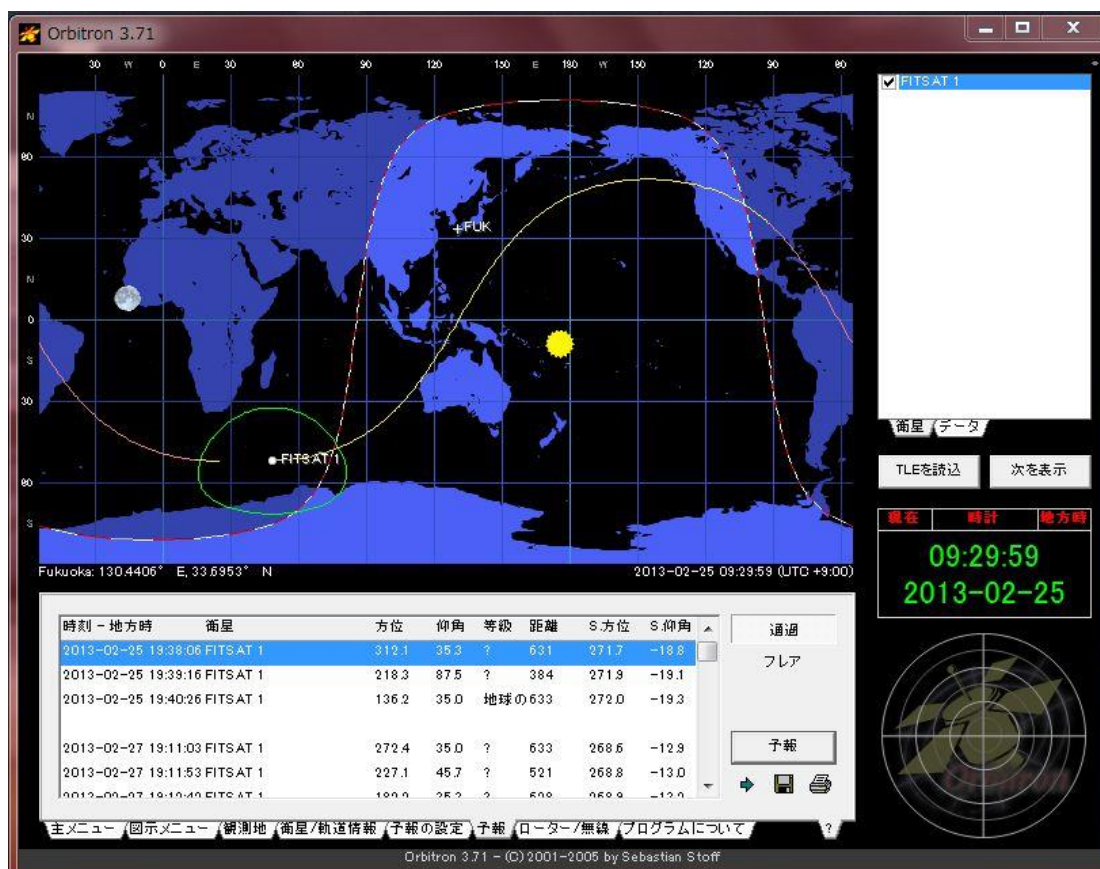


図 5.12 Orbitron の表示画面

5.2.3 アライメント方法

5.2.3.1 昨年度のアライメント方法

昨年度行われていたアライメント方法を示す。この方法だと精度を期待することはできなかつた。手順を 1)~2)に示す。

1) 衛星の出現位置の算出

CalSat32 を用いて衛星の最大仰角時の方位角を求める。

2) 方位磁針を用いて衛星の方位角に望遠鏡を合わせ、角度計で仰角を合わせる。

5.2.3.2 本年度初頭のアライメント

天体を用いたアライメント方法以前のものとなり、視野に入る建物を利用する。精度が出しにくいことと、準備に時間がかかるなど制限が多かつた。手順を 1)~3)に示す。

1) 現在地と建物の位置の算出

Google Maps を用いて現在地と観測に用いる建物の座標を取り出し、現在地と建物間の方位角と仰角を計算する。

2) アライメント

観測地と建物間の方位書くと仰角から 0 点を逆算する。

3) 衛星の出現位置への調整

Orbitron を用いて衛星の出現位置の座標を調べ、望遠鏡に導入する。

5.2.3.3 現在使用中のアライメント方法

天体を用いたアライメント方法になり、外部観測ができるように自己完結させたものである。精度に関しても最大で 0.1 度以内に収めることができる。実際に衛星の LED を確実に受光する事ができた。手順を 1)~4)に示す。

1) 自己位置推定

観測地に到着したら現在位置を GPS モジュールによって調べる。

2) 星を用いたアライメントの実施

自己位置推定ができれば、ステラナビゲーター9 に観測地の座標を入力し、天体の座標を出力する。

3) 天体の座標を用いたアライメント

天体の座標を望遠鏡の中心に合わせ、その時の天体の座標から 0 点を逆算する。アライメントに用いる天体は精度向上のため北極星やシリウス、カストルなど 2 等級以上の明るさを持ち方位角・仰角共に分散しているものを用いる。

4) 衛星の出現位置への調整

アライメントが終了したら、Orbitron を用いて衛星の最大仰角を求め、望遠鏡の導入を行う。

5.2.4 アライメント精度

現在使用しているアライメント方法の精度評価を行った。評価には FITSAT-1 と似た軌道を通る

ISS を用い、出現位置が、望遠鏡の中心部からどれだけズレているかを求めた。今回用いたカメラは Canon EOS Kiss X6i で、レンズは焦点距離 100mm のものを用いた。この機材は縦 12.72 度、横 8.52 度の画角となる。中心点から ISS のズレを求めたところ 0.2 度程の誤差となり、これは TLE の持つ誤差が 0.15 度ということから十分許容範囲内と考えられる。

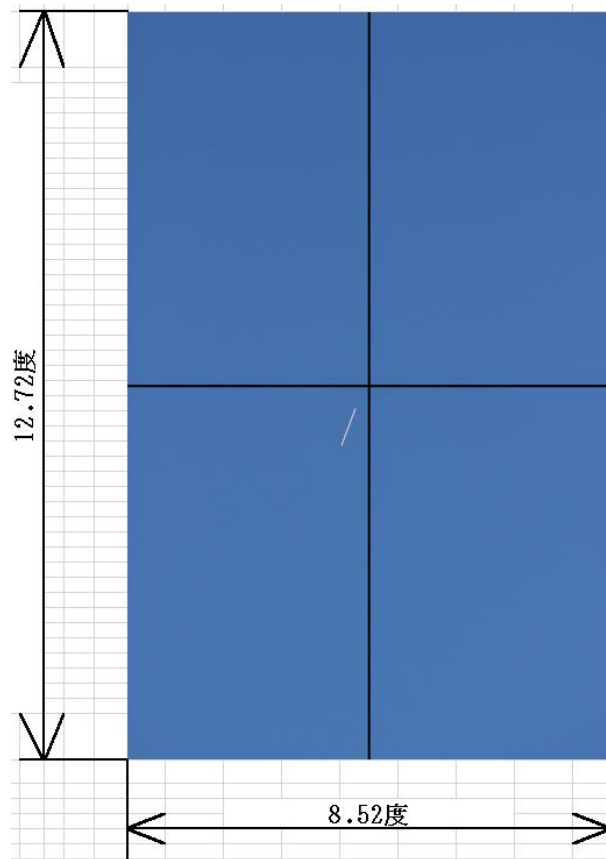


図 5.13 ISS の写真(線を引いているものが ISS)

福岡工業大学 C 棟屋上 Canon EOS Kiss X6i, f=100mm, F4, ISO400, SS2 で撮影

5.2.5 アライメント考察

天体を用いたアライメント方法に切り替えることで、大幅に精度を向上させることができた。また、ステラナビゲーター9 が短期間ならば天体情報をアップデートせずに精度よくアライメントを行えるため観測値選択肢の自由度を高めることができた。

5.2.6 今後の課題

今までは光電子増倍管を用いた観測となっていたため、FITSAT-1 の観測精度がどの程度のものか評価できていないため、撮影し誤差を求める事が考えられる。

5.3 観測日時の選定

5.3.1 観測日概要

FITSAT-1 からの LED を受光するためには、衛星の軌道と天体の状態から考えなくてはならない。これらの条件を踏まえ観測日時を選定することで、確実に LED を受光することができるのである。

5.3.2 観測条件

これまでの結果を元に 1)~4)に示す.

1) FITSAT-1 の軌道

FITSAT-1 の軌道は日毎に変動しており, 太陽が沈んでいる時間帯を選定しなければならない. その中でも観測地から FITSAT-1 が仰角 40 度以上に見えるものを選定する. これは実際に観測成功時の最低仰角であり, これ以下になると成功例が皆無であるからである

2) 月の満引き

月は夜間観測するにあたって最大のノイズ発生源である. そのため月が完全に地平線下へ沈みきった時間帯を選定する.

3) 観測場所の選定

光電子増倍管を用いた場合, 迷光の関係から肉眼で4等級以上の星が見えるところがあげられる. カメラを使う場合には3等級程度と考えられる.

4) 空の透明度

これまでの観測結果から, 現在アライメントに使用しているカメラの ISO 感度を 3200 程度にして画像にひどいザラつきが見られないかどうかで判断する.

5.3.3 考察

これらを踏まえ LED 点灯を日本各地で行った結果多くの成功を上げることができた. また, 本研究においても光電子増倍管で受光することができ有益なデータを上げることができ, 選定基準が正しかったと考えられる.

5.3.4 今後の課題

これまでは月が完全に沈んだ時間帯に LED を点灯させるようにしていたため, 月に 5 回実験できるかどうかであった. そこで超望遠レンズを用いることで, LED を受光できるかを試す必要性があると考えられる.