

〇〇望遠鏡用オートガイドシステムの開発

1. 研究の背景、目的

我々は天文部に所属しており、学校の屋上に設置されている口径〇〇cmの反射望遠鏡と CCD カメラを用いて日々観測研究を行っている。私が特に興味をもっている天体は〇〇星である。〇〇星は〇〇によって周期的に明るさが変化する天体で、この変光を詳細に調べることによって〇〇〇や〇〇〇を明らかにすることができる(参考文献[1])。変光の周期は典型的には〇時間程度、変光の大きさは〇%程度であり、長時間に渡る高精度な連続観測が複数回必要になる場合が多い。

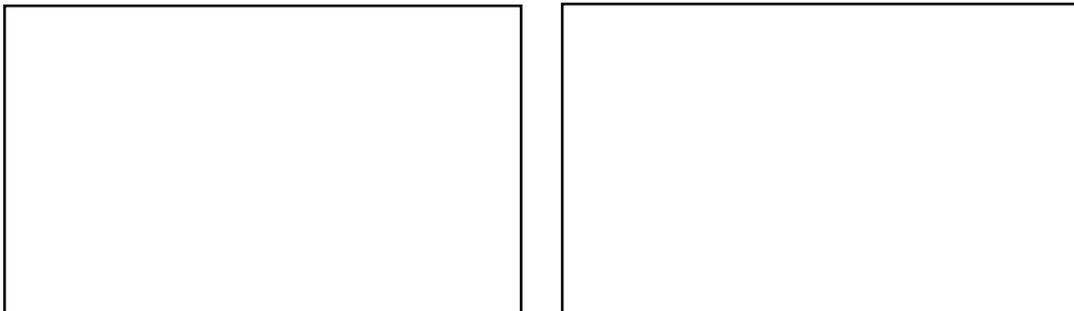
本校の〇〇cm望遠鏡と CCD カメラの制御はパソコンから行えるものの、望遠鏡の追尾性能が十分ではなく、時間とともに CCD 検出器上で天体の位置がずれていき、視野から外れてしまう。そのため、適当な時間ごとに望遠鏡の向いている方向のずれを直す必要がある。特に、〇〇星の観測のように高い測光精度を必要とする観測の場合は、天体の位置がなるべく CCD 検出器上で動かないようにし、CCD 検出器のピクセル間の感度ムラや視野内の光量分布の変化等の影響を受けないようにするのがよいとされている(参考文献[2])。

そこで我々は、CCD 検出器上での天体位置のずれを時々刻々自動で計測し、望遠鏡の指向方向に修正を加えるいわゆる「オートガイド」の機能を本校の望遠鏡用に開発、実装することにした。これにより、観測者の負荷を軽減し、効率的に観測を実施できるようにすることを目的とする。

2. 観測システムの構成

本研究で用いる観測システムは以下の通りである(図〇)。

- ◇ 望遠鏡：口径〇〇cm 反射望遠鏡(〇〇製、赤道儀式)、〇〇焦点
- ◇ CCD カメラ：〇〇製〇〇〇〇(**画素×**画素、画素サイズ ** μm ×** μm 、視野 **分角×**分角)
- ◇ 制御パソコン：〇〇〇〇(OS：〇〇)
- ◇ 望遠鏡および CCD の制御ソフトウェア：〇〇(プログラミング言語：〇〇)



図〇：〇〇〇

3. 天体位置検出アルゴリズム

望遠鏡の制御ソフトウェアには望遠鏡を天体に指向するコマンドが用意されており、現在位置との差分の角度（赤経、赤緯）を入力すれば望遠鏡の指向方向を修正することができるようになっている。私は、CCD カメラで取得した画像から天体位置のずれ（画素）を計測するプログラムを開発した。CCD 検出器上でのずれ（画素）を天球上でのずれ（赤経、赤緯）に変換し、値を望遠鏡制御ソフトウェアに渡す部分のプログラム開発は別の班員が担当した。

今回、天体位置を計測するアルゴリズムとして、下記①②の2つを試した。なお、CCD カメラで撮像された画像は〇〇というファイル形式で保存され、各画素に溜められた光子数に相当する情報が格納されている。プログラミング言語は使い勝手の良さから〇〇を用いた。プログラミング言語〇〇の〇〇というモジュールを用いることによって、〇〇形式のデータから各画素の光子数を数値として取り出し、以降の計算に用いることができる（参考文献[3]）。

➤ アルゴリズム①：〇〇〇〇

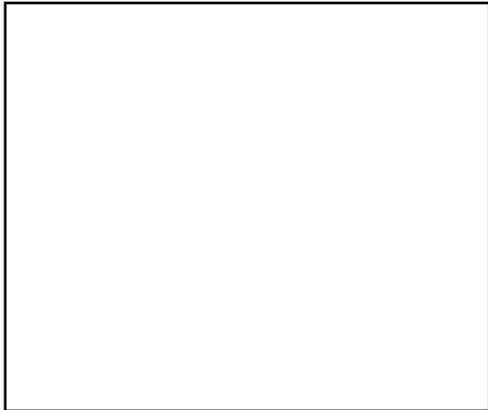
このアルゴリズムでは、〇〇〇〇を計算する。
主に、〇〇〇〇〇の場合を想定している（図〇）。
具体的には、まず、・・・・・・・・・・・・・・・・
・・・・・・・・・・・・・・・・



図〇：〇〇〇

➤ アルゴリズム②：〇〇〇〇

このアルゴリズムでは、〇〇〇〇を計算する
（参考文献[4]）。①とは異なり、〇〇〇〇〇の場合にでも適用できる方法である（図〇）。
具体的には、まず、・・・・・・・・・・・・・・・・
・・・・・・・・・・・・・・・・

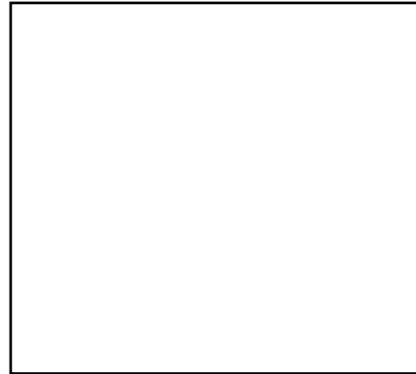


図〇：〇〇〇

4. 観測

開発したアルゴリズムの有効性を検証するため、実際に天体画像を取得した。観測日時と観測条件は以下の通りである。

- ① 202x年x月x日 ○～○時 天候：快晴
観測天体：***とその周辺天域 (図○)
データ数：一枚あたりの露光時間○○秒で合計○枚
- ② 202x年x月x日 ○～○時 天候：晴時々曇り
観測天体：***とその周辺天域 (図○)
データ数：一枚あたりの露光時間○○秒で合計○枚
- ③ 202x年x月x日 ○～○時 天候：晴時々曇り
観測天体：***とその周辺天域 (図○)
データ数：一枚あたりの露光時間○○秒で合計○枚

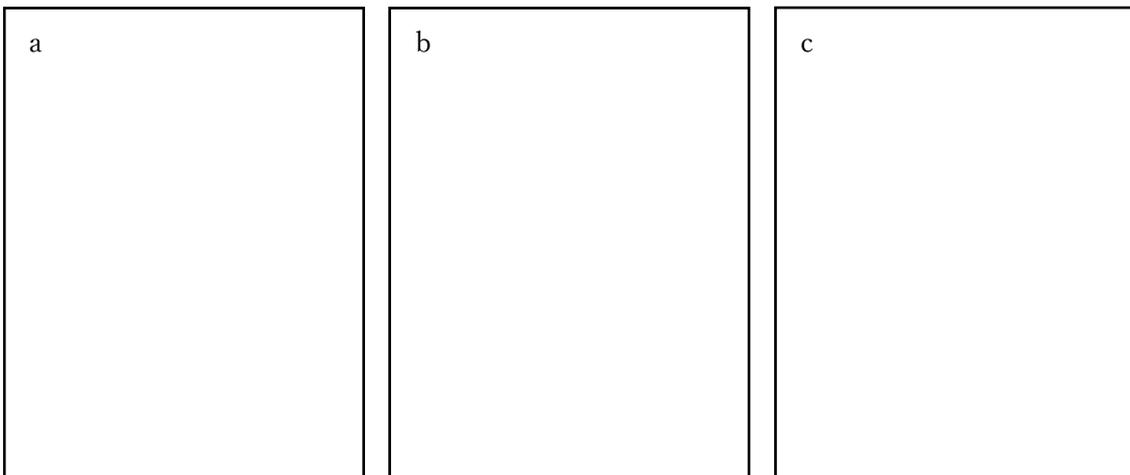


図○：○○○○○

観測日①②では、望遠鏡指向方向の補正は手動で時々行うにとどめ、わざと天体位置がずれていく状態にし、天体位置を正しく検出できるかを調べるためのデータを取得した。観測日③では、オートガイドを働かせ、実際に天体位置をどの程度一定に保てるかを確認した。

5. 結果

それぞれの日のデータについて、開発したアルゴリズムで検出した天体位置のずれ量と、目視で測定したずれ量とを比較した結果を図○に示す。目視での測定は、画像上のある一つの天体の周辺○○画素の領域を切り出し、その範囲内での○○を測ることによって行った。



図○：○○○○○

6. 考察

図○からは、いずれの日もアルゴリズム②の方が正確にずれを計測できていることが分かる。アルゴリズム①では○○なため、○○の場合には誤ったずれ量を計算してしまう。一方、

アルゴリズム②は〇〇なため、①に比べてより確実にずれを計算できると考えられる。

図〇からは、雲が時折通過する時間帯では、どちらのアルゴリズムでもずれ量の計算を間違える頻度が高いことが分かる。これは、〇〇〇〇〇〇のためと考えられる。そこで、空の状態の変化による影響を軽減するため、〇〇〇〇を考慮に入れるようアルゴリズムを改良したところ、有意な改善が見られた（図〇）。

3日目の観測では、実際にこのアルゴリズムを望遠鏡の制御ソフトウェアに組み込んで、望遠鏡の指向方向を修正するフィードバックをかけて観測を実施した。その結果、晴れている時間帯では CCD 検出器上で約〇画素以内の精度で天体位置を一定に保つことができた。これは、目的とする〇〇星の観測には十分な精度である。

一方、この日の観測から、本校の望遠鏡には〇〇〇という動作上の特性があることが分かった。そのため、正しく天体位置のずれを計測できていても、〇〇〇の場合には検出器上で天体位置を一定に保てないことが分かった。

今後の改善点としては、アルゴリズム②では計算に時間がかかりすぎているため、より効率的な計算方法を考案すること、様々な観測条件や望遠鏡の特性に対応できるように〇〇〇を最適化することなどが挙げられる。

7. まとめと今後

本研究では、本校屋上に設置されている口径〇〇cm 反射望遠鏡を用いた効率的な長時間連続観測の実現を目的として、オートガイドシステムの開発、実装を行った。具体的には、天体位置検出アルゴリズムとして〇〇を用いることによって、晴れていれば〇時間に渡って CCD 検出器上の〇〇画素以内の精度で天体位置を一定に保ち観測できるようになった。一方、空の状態の変化や望遠鏡の動作上の特性を考慮したアルゴリズムの開発は今後の課題である。

グループ内での役割、成果発表等

本研究は〇名のグループで実施した。私は、グループのリーダーとして全体を統括しつつ、天体位置計測アルゴリズムの考案とそのプログラミングを担当した。アルゴリズムの考案にあたっては、顧問の先生から数学的背景について助言を頂いた。計算したずれ量をもとに望遠鏡へ指令を出す部分のプログラミングは他の班員が行った。計 3 回の観測は全員で行った。本研究の成果は、〇〇主催の 202x 年度〇〇研究会で発表し、〇〇賞を受賞した。

参考文献

[1]〇〇〇

[2]〇〇〇

[3]〇〇〇

[4]〇〇〇