

研究要旨

本校天文気象部では、一昨年よりビデオと電波による流星の常時観測を行っている。本研究ではこの先行研究の継続研究として、流星の母天体となる彗星・小惑星のより具体的な分析を可能にするため、回折格子を取り付けたカメラモジュールをRaspberry Piで制御する**流星分光観測装置を新たに製作**した。また、正確な観測データの取得に必要な**補正計算を一元化したPythonプログラムの開発を開始**した。これらの装置及び手法を用いて、流星群を分析し、装置の検証を行った。

研究背景

本校天文気象部では1953年よりペルセウス座流星群の観測を行っており、現在はペルセウス座流星群で3晩、ふたご座流星群で1晩、眼視による徹夜観測も行っている。また、常時流星を観測するため、ATOMCam2を用いた自動ビデオ観測と、電波観測での2手法での自動観測も行っている(水澤ほか 2023¹,2024²)。それに加えて私たちは、母天体の彗星や小惑星を観測したいと考え、分光観測による、流星を構成する物質の特定を行った。

研究目的

流星分光観測システムを構築して流星の成分を明らかにし、母天体の彗星、小惑星の観測に繋げることを目指す。

先行研究

ビデオ観測システムの構築^[3]

約4000円と安価であり高感度な赤外線ナイトビジョンを搭載している防犯カメラATOMCam2を4方位と天頂方向の計5台設置し、全天を網羅した(図1)。

また、フレーム間差分とYOLOv9を用いて流星を検知するプログラムを開発し、眼視より多くの流星を判別することに成功した。



図1 ビデオ観測装置

分光観測装置の製作

Raspberry pi 5で制御するカメラモジュール「IMX462」と透過型ブレード回折格子(表1)を用いて**分光観測装置を製作**した(図2, 3)。



図2 分光観測装置

図3 分光観測装置の設計図

表1 機材詳細

カメラ	IMX462	AtomCam2
レンズ	8mm f1.8	2.8mm f1.6
画角	約39° × 22°	約102° × 55°
撮影画質	FHD 60fps	FHD 15 fps
回折格子	透過型ブレード格子 VIS 600GPM 25 × 25	透過型ブレード格子 VIS600GPM 25 × 25

Raspberry Pi 5ではIMX462を2台制御できなかったため先行研究(水澤ほか2023^[3])で使用されたAtomCam2で代用した。

画像補正ソフトの開発

流星分光観測の分析は図4のような手順で行う。正確にスペクトルデータを得るためには図黄色部の補正作業を全て行う必要がある。この補正作業を全てフリーソフトで行うと**複雑で作業が多くなる**ため、これらの作業を**一元化したソフト**をPythonを用いて**独自に開発**した(図5)。

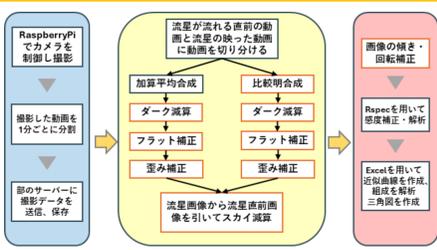


図4 分光分析の手順

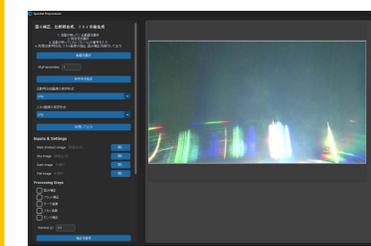


図5 自作画像補正ソフト

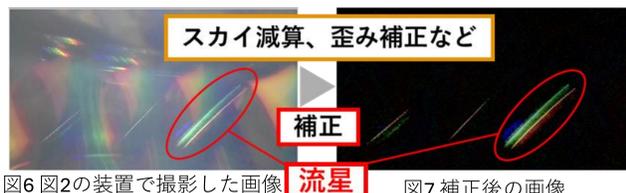


図6 図2の装置で撮影した画像

図7 補正後の画像

分光観測の分析手順

自作の画像補正ソフトを用いて観測画像に補正を行った後は(図6・7)、分光解析ソフトウェア**Rspec**^[4](図8)を用いて**波長校正**を行い、観測スペクトルとマグネシウム、ナトリウム、鉄の波長それぞれを軸とする**ガウス関数**で近似した(図9)。詳しい手法は以下にまとめた。

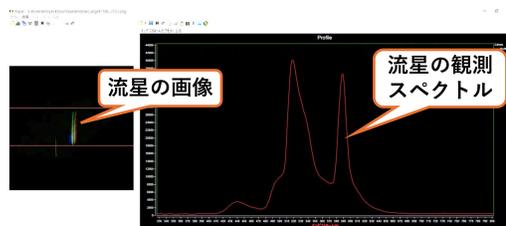


図8 RSpecの画面

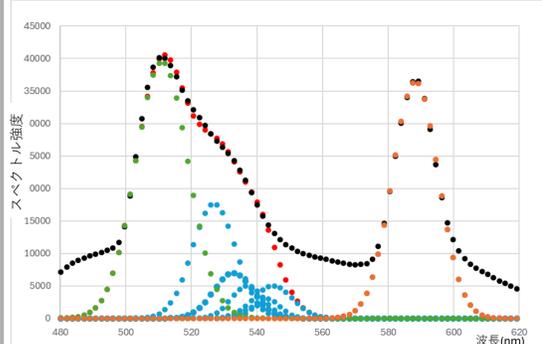


図9 スペクトル曲線と近似曲線
黒: 観測スペクトル
緑: Mg近似ガウス関数 橙: Na近似ガウス関数
青: Fe近似ガウス関数 赤: 近似ガウス関数の和

図9 スペクトル曲線と近似曲線

流星の成分の傾向の分析

分光観測装置を北東、北西へと向け観測を行った。**計7つの流星**を捉え、**分光することに成功**した(図10)。また、図4の手順に従ってそれぞれの流星の金属組成(マグネシウム、ナトリウム、鉄)を調べ**三角グラフにプロット**した(図11)。

どの流星群の流星においても**Naが少ない傾向**がみられた。これはNaはMg, Feと比べて揮発性が高いためだ、と考えられる。

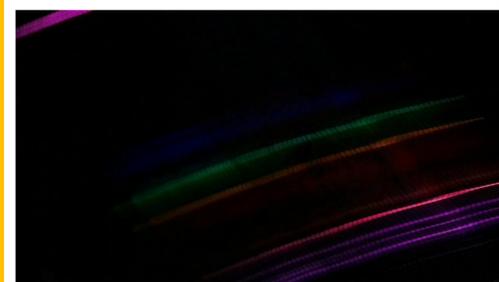


図10 ふたご座流星群の火球

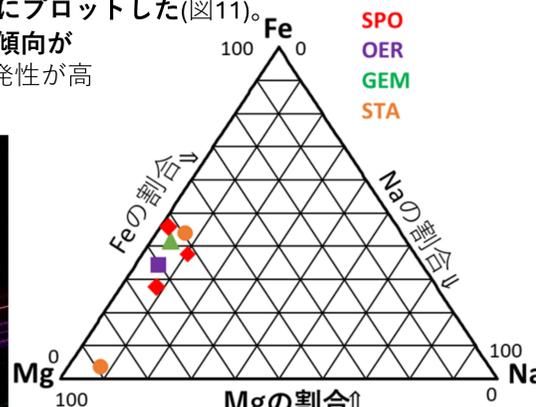


図11 Mg, Na, Feの組成比

Mg, Na, Feの輝度変化

観測数の少ないエリダヌス座流星群の流星と、2025年12月26日23時頃に福島県上空を流れた散在流星^[2]について、撮影に成功した動画をフレーム分解し、数フレームごとに比較明合成をし、それぞれの画像を図4の手順に従って分析し、金属(マグネシウム、鉄、ナトリウム)の**相対輝度を調べ、それらの変化をグラフ**にした(図12)。マグネシウム、ナトリウムに比べて**鉄は発光の変化がなだらか**であることがわかった。またエリダヌス座流星群の流星では**発光のピークが二度**現れることがわかった。

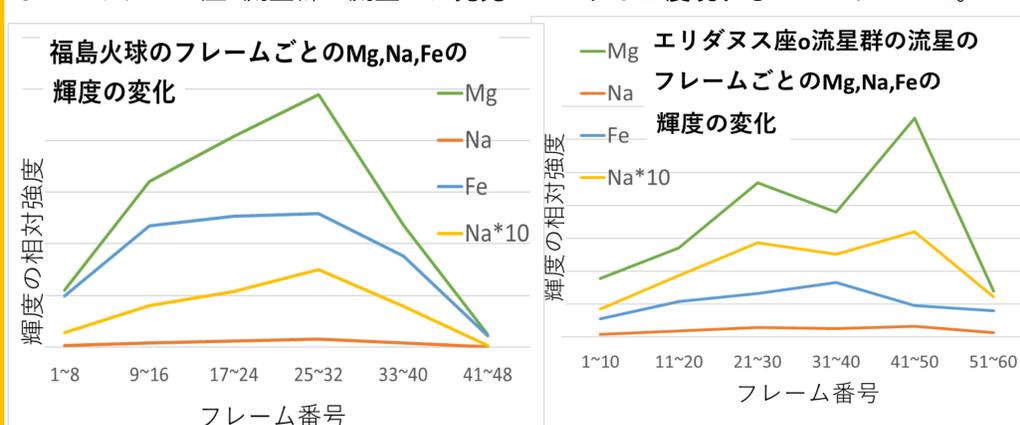


図12 Mg, Na, Feの輝度変化

三大流星群の光度変化

流星の**発光点と消失点**を指定することで、その流星の**光度変化**を出力するプログラムをPythonを用いて**独自に開発**した(図13)。この**自作のプログラム**を用いて、しぶんぎ座流星群、ペルセウス座流星群、ふたご座流星群について、各流星群の**極大日に観測した流星のデータ**から、流星の**継続時間と発光強度の変化**について調べ、グラフにまとめた(図14)。合わせて**1200個以上の流星**について調べることができた。継続時間と発光強度については**最大値を1として正規化**して扱った。どの流星群についても**相対発光強度のピークは相対継続時間0.65付近**となった。ペルセウス座流星群としぶんぎ座流星群に関しては**相対継続時間0.85付近で発光強度が増加**していた。ペルセウス座流星群については**典型的な光度変化**^[4]によるものではないかと考えられる。

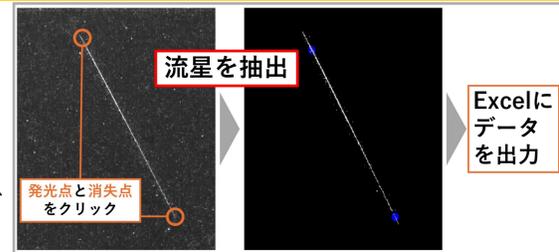


図13 光度変化の分析の手順

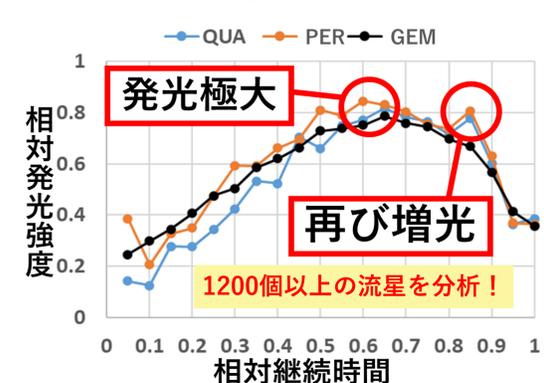


図14 流星群ごとの流星の継続時間と発光強度の関係

まとめ

・流星の**分光観測装置**を自作

開発した**画像補正ソフト**を用いた流星の組成の分析に成功

自作装置で流星を深く分析できた

今後の展望

分光観測の精度を向上し、**眼視、ビデオ、電波、分光**の4手法での観測を継続!

データを蓄積し、**流星や落下物体**(図15)の研究を進める。分光観測数を増やし、**流星の起源**に迫る。

データの蓄積と分析は流星の研究だけでなく、観測困難な熱圏・中間圏などの**高層大気の解明**人工衛星や宇宙ゴミなどの**落下物体の把握**につながる。



図15 落下する人工衛星

謝辞 本研究は、高校・高専気象観測機器コンテストの助成金を受けて行いました。本研究を行うにあたり、本校天文気象部顧問の可長清美先生に全体をご指導いただきました。阿部 新助氏(日本大学 理工学部 航空宇宙工学学科 教授)に、使用機器に関するご指導を頂きました。永井和男氏(日本気象学会)に、流星スペクトルの分析の手法に関するご指導を頂きました。天文気象部 OB の TA の方々に、観測機器の製作及び資料作成についてご協力頂きました。本研究にご協力いただいた全ての皆様へ感謝いたします。

参考文献 [1] rspec-astro.com [2] sonotaco.jp [3] 都立立川高等学校天文気象部 『流星の自動観測システム「Tengu」 ver2.0の開発』 第13回高校・高専気象観測機器コンテスト [4] 斎藤馨児・長沢工(1984). 『流星 I 観測の実際』 恒星社厚生閣