



17T 流星の自動観測装置の製作と流星群の分析

～火球とクラスターについて～

東京都立立川高等学校 天文気象部 水澤 資人 西 梨杏 大谷 勇人 奥出 理人 村田 圭総 (高3) 大浪 弘貴 (高2)

研究要旨・背景

流星の分析は高層の地球大気や、宇宙空間の彗星・小惑星の観測につながる。本部は、毎年ペルセウス座流星群やふたご座流星群の眼視による徹夜観測を行ってきた(図1)。徹夜観測ができない日も流星を捉えたいと考え、2023年より観測の自動化を目指し、眼視・電波に加え、安価な赤外線防犯カメラ5台を用いた独自のビデオ装置や検知プログラムを開発し、流星群を観測しながら改良してきた。



図1 本校屋上で捉えた火球

2025年にはビデオの日よけ装置を開発し、モニタリングページのWebUIを開発してリアルタイム通知と外部への公開を可能にした。また、ふたご座流星群や、青森で観測された「流星クラスター」、鹿児島と長野で観測された火球の分析を行った。

研究方法

本研究の方法と概略を図2に示す。これらの方法でさまざまな流星群を観測し、分析を進めた。

ビデオ・電波・眼視の3手法の観測により様々なことが考察できる

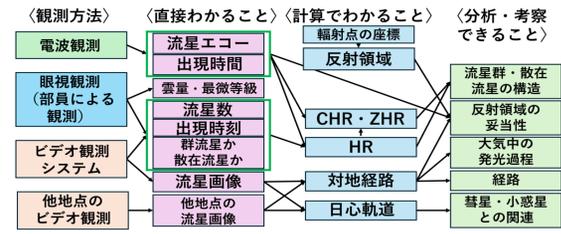


図2 本研究の概略図(斎藤・長澤『流星 I 観測の実際』を参考)

流星クラスターの分析

流星クラスターとは、数秒に数十個の流星が出現する、世界で10例ほどしか観測されていない希少な現象である。8月14日、青森上空で1秒未満に約20個の流星が流れ、北海道と青森で撮影された映像をすぐに比較明合成し、分析した。青森では本校と同じATOMCam2を使用していたため、本研究と同じ手法で歪み補正を行い、天球での位置座標を示す軌道情報を解析した結果、15個の流星の対地軌道・日心軌道の特定に成功した(図10)。さらに群判定を行った結果、これらがペルセウス座流星群由来のものだと推測された。これらは本流星群初の大規模クラスターと考えられる。

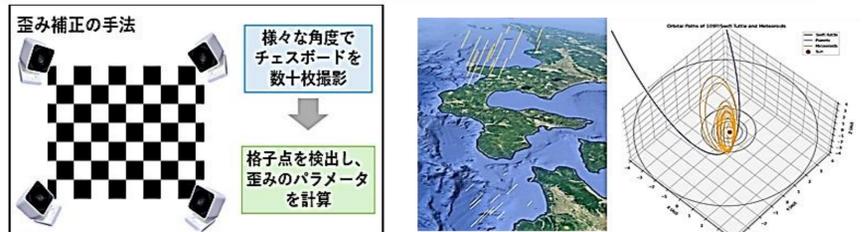
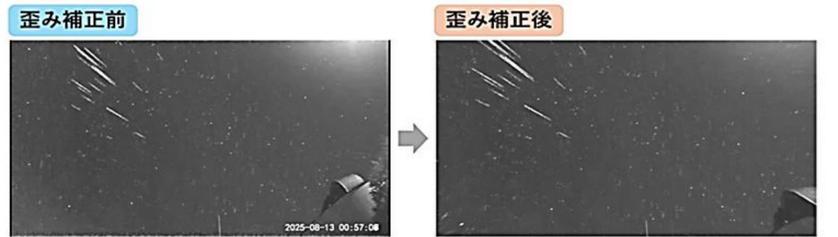
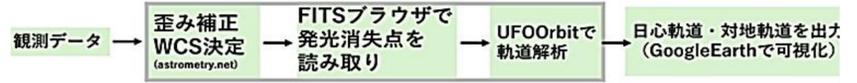


図10 画像の歪み補正の手法と 解析したクラスターの対地軌道・日心軌道

観測装置の製作と検知プログラムの開発

<ビデオ観測装置>

2023・2024年に安価な赤外線防犯カメラを5台用いて全天を網羅する独自の観測装置と機械学習を用いた検知プログラムを開発した。

2025年にはRaspberry piとステッピングモーターを利用したカメラ保護用の自動日除け装置を実用化した(図3・4)。



図3 ビデオ検知プログラム



図4 屋上に設置したビデオ観測装置と電波観測用のアンテナ(データは全て部室パソコンに蓄積)

電波観測装置の製作と検知プログラムの開発

<電波観測装置>

2023年、電波観測システムを構築した。従来から使われるこの方法は流星飛跡が電波を反射する性質を利用する(図5)。2024年は物体検出で電波画像から流星を検知するプログラムを開発した(図6)。



図5 電波観測の仕組み

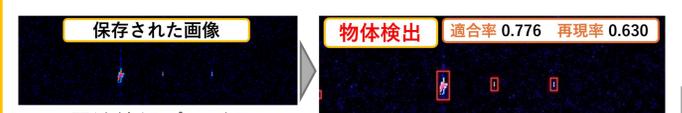


図6 電波検知プログラム

独自のデータセットで高い精度で流星を検出

WEBデータベースの開発とDiscordによる通知

本部は78年前に気象観測や太陽黒点の観測を始め、現在も毎日継続している。2019年には視程(どこまで見渡せるかという気象要素)観測のために、自動撮影した画像をサーバー管理してモニタリング可能にし、2021年には気象も含めた膨大な蓄積データを一元管理して、WEBで可視化する開発を始めた。このシステムに流星観測システムを統合し、データを確認できるモニタリングページを開発し、Discordによる観測結果のリアルタイム通知や各機器の操作を可能にした(図7)。

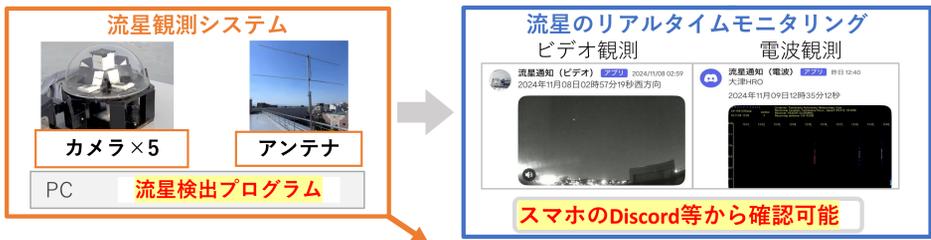


図7 流星観測システム

2025年ふたご座流星群の分析

12月15日、ふたご座流星群極大に合わせて眼視・ビデオ・電波の3手法で観測(図8・9)。

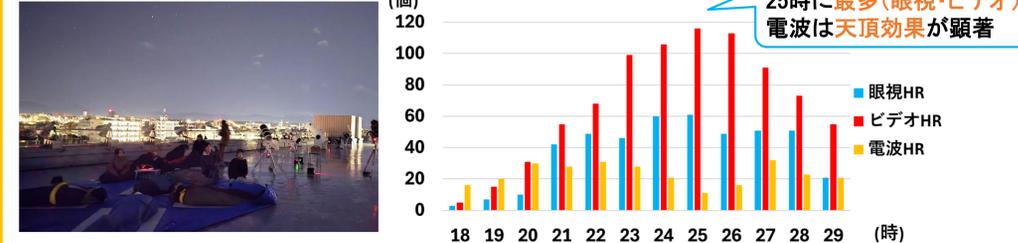


図9 2025年12月14日から15日の流星数

図8 ふたご座流星群観測の様子

鹿児島と長野で流れた火球の分析

2025年8月19日23時8分、種子島沖上空で過去30年で最大規模の大火球が発生し、九州・四国各地で目撃され、本校の観測装置でも、この火球による光芒が捉えられた(図11)。Hi-net高感度地震観測網に記録された衝撃波の到達時刻から衝撃波の発生源を逆算し、長沢・三浦(1987)の方程式を用いて軌道決定を行った。この推定軌道と、藤井氏が計算したビデオ観測による軌道を比較したところ、両者の結果はおおむね一致した(図13)。

図11 本校で観測した光芒

また、大火球が観測された後、8月20日3時45分に長野県南部で別の火球が合宿先の長野県入笠山と本校屋上で観測された(図12)。2地点から軌道決定を行ったところ、平塚市博物館の藤井大地氏が計算した鹿児島火球の軌道と近似した(図14)。したがって鹿児島の大火球と長野の流星は、同一の母天体から分裂した可能性があるかと推測した。



図12 本校と合宿先で撮影した長野上空の火球

図13 地震計からの推定軌道

図14 日心軌道の比較

まとめ

- 流星等を1年中観測する装置・機械学習による検知プログラムを開発
ビデオと電波を組み合わせ、リアルタイムで流星を通知し、大量のデータを一元管理するオリジナルのシステムを完成

- ふたご座流星群を眼視・ビデオ・電波で観測し、比較
流星クラスターの軌道を算出し、ペルセウス群と判定
火球の軌道を衝撃波から特定し、関連する流星を発見

自作装置で流星を深く分析できた

今後の展望

- データを蓄積し、流星や落下物体の研究を深める
全国の天文部に開発したシステムを紹介し、広域で空を見張る流星観測ネットワークを作りたい!

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(図15)
いつか起こりうる天体衝突の把握に役立つといえる。



図15 屋上で捉えた落下衛星

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、天文気象部顧問の可長清美先生に全体のご指導をいただきました。流星の経路特定は平塚市博物館の藤井大地先生、電波観測用アンテナの感度調整は東村山HRO送信者の神作哲夫氏と日本流星研究会の杉本弘文氏、反射領域計算は流星電波観測国際プロジェクトの小川宏氏に、観測機器の制作は天文気象部OBの方々にご協力いただきました。協力してくださった方々に感謝申し上げます。

参考文献 1)天文気象部(2023)『流星観測装置「TenGu」の制作～ビデオと電波による流星自動観測システムの構築～』[第12回高校・高専気象観測機器コンテスト] 2)本部(2024)『視程観測の自動化と気象観測システムの構築』[日本地球惑星科学連合学会] 3)本部(2021)『視程観測の自動化と気象観測システムの構築』[第10回高校・高専気象観測機器コンテスト] 4)mNakada,「atomcam_tools」5)流星電波観測国際プロジェクト 6)東京大学教育学部附属中等教育学校 内海洋輔(2002),『HRO流星レーダーの観測領域の計算』7)小川宏(2022),『ふたご座流星群における反射領域の考察(HROとFROの違い)』8)波部潤一(1984),『群流星に対するFM流星出現領域の計算(II)』9)長谷川均(2024),『ATOMCamで検出された流星検出と位置測定』[流星電波観測報告会2024] 10)Astrometry.net 11)WongKinYiu,「yolov9」12)SonotaCo.com 13)平塚市博物館,『火球と隕石』14)斎藤馨児,長沢工(1984),『流星 I 観測の実際』恒星社厚生閣 15)AstroArts ステラナビゲータ11 16)ATOM,「ATOMCam2」