

短 報

高感度ビデオカメラ 2 台を用いた流星の広視野観測

近藤 秀作¹⁾, 林 忠史¹⁾

富山市科学博物館 939-8084 富山市西中野町一丁目8-31

Wide Field of View Meteor Observation with Two High-sensitivity Video Cameras

Shusaku Kondou¹⁾ and Tadashi Hayashi¹⁾

¹⁾ Toyama Science Museum,

1-8-31 Nishinakano-machi, Toyama 939-8084, Japan

1. はじめに

富山市科学博物館では、2021年度より同館 4 階屋上に高感度ビデオカメラ 1 台を使った流星・火球のビデオ観測を夜間常時行い、流星が流れた時間や方角、明るさなどのデータを取得している（近藤ほか、2022）。特に火球は、近年ドライブレコーダーなどでも撮影されるなど度々話題となり、市民の興味関心も高いことから、これらのデータを利用して火球目撃に関する問い合わせなどにも対応してきた。しかし、ビデオカメラ 1 台が観測できる視野は空の一部であるため、ビデオカメラの視野外で流れる多くの流星が観測できていない。また、ビデオカメラも10年以上前のものを使用しており、感度が低いという課題があった。そこで、既存の観測システムに最新の高感度ビデオカメラを使った観測システムを加えることで、観測領域の拡張と感度の向上を図り、富山における流星と火球のより完全な記録の取得を目指した。

今回の報告では、新たに構築した流星観測システムについて報告するものである。

2. 新たな観測システムの構築

同館の流星観測はこれまで、同館 4 階屋上に設置した雨風よけケースの中に広角レンズを付けた高感度ビデオカメラを入れ、ビデオカメラが捉えた映像をBNCケーブルを通じて館内の観測PCへと入力し、観測PC内で起動している動体監視ソフト（UFOCaptureV2）を用いて流星のリアルタイム動体検出を行ってきた（図1）。今回の新たな観測システムでは、これまでと同様のシステムをもう1セット用意し、2台の高感度ビデオカメラを空の2方向に向けて設置して、観測を行うことにした。これにより、空のより広範囲の領域を観測することが可能とな

る。本システムを構築するにあたり、観測装置の機器選定、機器の調整を行うとともに観測場所の見直しも図った。なお、観測機器の選定、観測データの解析には、SonotaCo氏がまとめた資料（SonotaCo, 2004）を参考にした。



図1 これまでの観測装置の設置状態。

2.1. 観測機器の選定

初めに、夜空の動体監視を行うにあたり、1秒当たり30フレーム（fps）で撮影できる高感度ビデオカメラが必要である。そこで新たなビデオカメラには、WATEC社製 WAT-902H-ULTIMATE 選んだ。本ビデオカメラは、既存で使用しているビデオカメラ（WATEC社製WAT-100N）の後継機となるモデルで、内蔵する素子の大きさや有効画素数などはWAT-100Nと基本的に同じであるが、感度に関わる最低被写体照度が0.0001ルクスと1桁ほど高い製品となっている。

次に、ビデオカメラに取り付けるレンズについては、暗い流星を捉えるためになるべく絞り値（F値）が小さく、かつ広い領域を観測するために画角が広い物が必要となる。また、屋外に常時設置するため、日中に太陽光などの強い光でビデオカメラの素子などが故障しないように、明るさに応じて自動でレンズの絞りを調整できるオートアイリス（自動絞）対応のレンズであることも重要である。そこで、ビデオカメラWAT-902H-ULTIMATEに取り付け可能なTAMRON社製12VG412ASIRを選んだ（図2）。本レンズは、焦点距離が4～12mm、F値が1.2～360のバリフォーカルレンズ（焦点距離を変えると、手動でフォーカスを調整する必要があるレンズのこと）である。既存のレンズ（CBC社製 HG3808AFCS-HSP）



図2 TAMRON社製のレンズを付けたWAT-902H-ULTIMATE.

表1 観測装置Tsmcam1 とTsmcam2 の主な仕様.

機器の主な仕様		Tsmcam1	Tsmcam2
ビデオカメラ	型名	Watec社製 WAT-100N	Watec社製 WAT-902H2 ULTIMATE
	撮影素子	1/2型CCD	
	セルサイズ	8.4 μ m(H)×9.8 μ m(V)	
	有効画素数	768(H)×494(V)	
	最低被写体照度	0.001 lx. (F1.4)	0.0001 lx. (F1.4)
	ガンマ補正	$\Gamma \approx 1.0$ (OFF), 0.65(LO), 0.35(HI)	$\Gamma \approx 1.0$ (OFF), 0.45(LO), 0.35(HI)
	AGC	5~42dB	HI: 5~60dB, LO: 5~32dB
	S/N比	50dB(AGC OFF)	50dB以上(AGC=5dB, $\gamma=1.0$)
	入出力端子	BNC	BNC
	寸法	42(W)×44(H)×53(D)mm	36(W)×40(H)×63(D)mm
	レンズマウント	CSマウント	
レンズ	レンズ型名	CBC社製 HG3808AFCS-HSP	TAMRON社製 12VG412ASIR
	焦点距離	3.8mm	4~12mm
	絞り値 (F値)	F0.8	F1.2~360
	画角	80.2度×64.5度	77.3度×61.9度
その他	総重量	約285g	約166g

に比べると、絞り値はやや暗いが、焦点距離が4 mmの時、ほぼ同等の画角が得られ、現行で販売されているレンズの中では必要な条件を満たしたものである。ビデオカメラ本体の感度が上がっているため、既存の機器と同等かより高い感度が得られることが期待された。

今回の観測システムでは、これまで通り既存のビデオカメラWAT-100NとレンズCBC社製HG3808AFCS-HSPによる装置と、新たに選定したビデオカメラWAT-902 H-ULTIMATEとレンズTAMRON社製12VG412ASIRによる装置を使用することとした。以降、前者の装置をTsmcam1、後者をTsmcam2とし、それぞれの仕様を表1にまとめた。

2.2. 観測場所の再検討

これまでの観測では、同館4階屋上に機器を設置していた。しかし、ビデオカメラ2台で運用することから、より拡張性がありかつ効率的に広い領域を観測できるように、機器を設置する場所についても再検討を行った。観測場所としては各カメラの観測視野を妨げないように周囲に壁や障害物が少なく、なるべく空全体が開けている場所が適している。この点において4階屋上は、北面と東面に博物館の外壁などがあり、ビデオカメラ2台を効率よく別々の方角に向けることが難しかった。そこで、空の視界がほぼ360度開けている同館最屋上(図3)へ設置することとした。設置に当たっては、ビデオカメラが雨風にさらされないようにする必要がある。特に、屋上は天候によっては非常に強い風が吹くことから、風の振動などの影響を極力抑える工夫も必要である。そこで、

風の振動対策として望遠鏡用の支柱(ピラー)を立てて、板厚12 mmのアルミ板を加工した土台にビデオカメラを入れた防犯カメラ用のハウジングケース2台を固定した。また、冬になるとハウジングケース内の観測窓が曇るなどの影響が出たため、湿気取り剤を入れるなどの対策を行った。

2台のビデオカメラで観測する方角は、Tsmcam1が南東、Tsmcam2が南西とした。ともに仰角は約50度、画角はTsmcam1が水平画角80.2度×平行画角64.5度、Tsmcam2がおおよそ水平画角77.3度×平行画角61.9度である。なお、2台のビデオカメラの観測領域は1/3程度被るようにした。これは、後に各ビデオカメラが観測した流星の明るさなどを解析する際に、ビデオカメラによる結果の違いを確認するためである。



図3 屋上に設置した2台のビデオカメラ。

2.3. 流星観測から解析まで

2つの観測装置が流星を観測するまでの流れは以下のようになる。各ビデオカメラからそれぞれBNCケーブルを引いて館内にある観測用の各PCに映像を入力する。各PCでは動体監視ソフト（UFOCaptureV2）を起動しており、リアルタイムで入力された各ビデオカメラの映像から流星などの動体が映った時に自動検出を行う。自動検出されると動画と静止画が保存されるため、後日これらのデータを解析し、飛行機や鳥などの飛翔体、雨や雪、ノイズなど明らかに流星とは異なるデータを手動で取り除く。流星のみの動画データを流星解析ソフト（UFO Analyzer）で解析することで、流星の発光／消滅点の赤経・赤緯、等級、流星群のタイプなどの情報を得る。

2.4. ビデオカメラとレンズの調整

観測に使用するビデオカメラやレンズは使用環境に応じた適切な設定や調整を行わなければ、夜間に星空や流星が映らないといったことが起こる。特に、今回導入したTsmcam2の機器はその調整と機器の特徴を知る必要がある。ビデオカメラの設定には、映像の明るさやコントラストに影響を与えるガンマ補正やゲインの調整があり、一方レンズにはピントの調整や絞りの調整がある。ビデオカメラの設置やケーブルの配線、また観測PCの初期調整を終えて、2022年8月5日より毎晩観測を行いながら適宜上記のような設定を変更し、星空や流星の映り方、また月明かりや雲の有無による映像の変化など記録し、調整を繰り返した。図4と図5はその一例である。それぞれTsmcam2が2022年11月17日と2023年1月13日に撮影した同じ冬の星空が写っているときに観測された流星の画像である。比べると図5の方が背景が明るく、オリオン座などの形もたどれる程度に星が写っている。これは、ゲインや絞りの調整による写り方の違いがでているためである。

3. 観測の記録

3.1. 月毎の流星観測数の推移

観測は、8月5日より夜間常時観測を行い、得られたデータから、ビデオカメラやレンズの調整なども適宜行っ



図4 2022年11月17日 4時7分 Tsmcam2 が観測した流星。

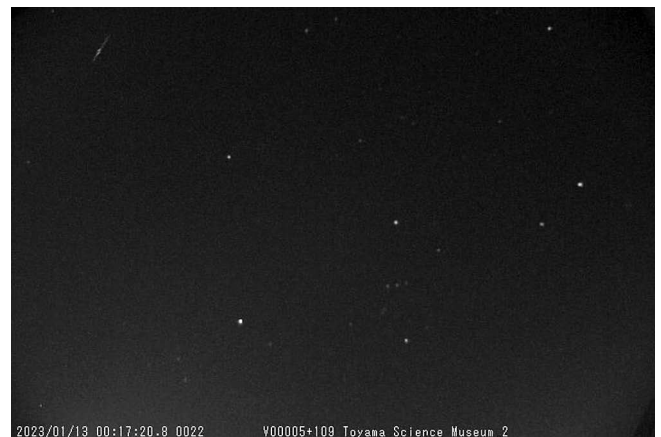


図5 2023年1月13日 0時17分 Tsmcam2 が観測した流星。

た。表2は、2022年8月5日～2023年2月28日までにTsmcam1とTsmcam2が観測した月毎の流星の観測総数と観測夜をまとめたものである。観測夜は、各ビデオカメラが1個以上の流星を観測した夜を指す。期間中に、Tsmcam1は87夜、Tsmcam2は101夜、のべ1,847個の流星が観測された。なお、この流星の観測数は、Tsmcam1とTsmcam2で一部観測領域の被りがあるため、同一の流星を含む観測数であることに注意が必要である。また、Tsmcam1とTsmcam2で毎月観測夜に違いが出るのは、天候によって時折晴れた際に偶然その方向に流星が流れたケースや、ビデオカメラ・観測PCの調整のため観測できなかった日があるためである。特に

表2 月毎の流星観測総数と観測夜。

月	2022年8月	9月	10月	11月	12月	2023年1月	2月	計
流星観測のべ数 (個)	518	211	686	270	43	69	50	1,847
Tsmcam1の観測夜 (夜)	19	10	22	15	5	9	7	87
Tsmcam2の観測夜 (夜)	22	16	18	20	4	12	9	101

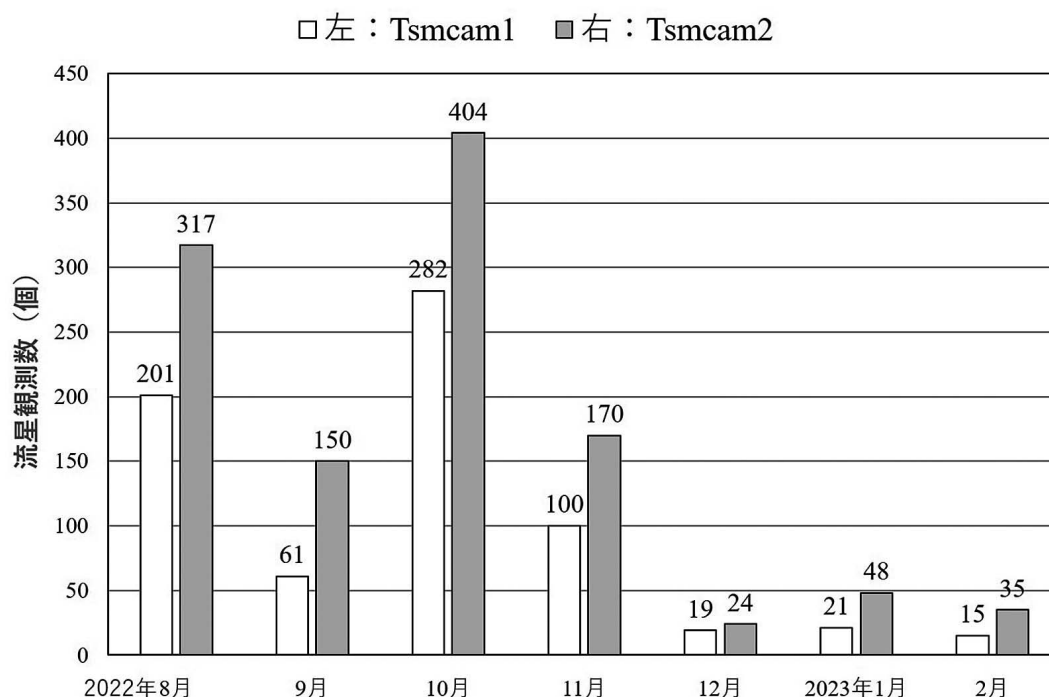


図6 月ごとのTsmcam1 とTsmcam2 の流星観測数.

表3 1夜あたりの流星観測数.

月	2022年8月	9月	10月	11月	12月	2023年1月	2月
Tsmcam1 (個)	10.6	6.1	12.8	6.7	3.8	2.3	2.1
Tsmcam2 (個)	14.4	9.4	22.4	8.5	6.0	4.0	3.9

9月は天候不良だけではなく、Tsmcam1の観測PCの調整のため観測できない日が多かった。また、12月以降の冬の期間は、曇天や降雪などの影響であまり観測ができなかった。

次に、月毎の流星観測数をTsmcam1とTsmcam2とで分けたものが図6である。10月を除いて毎月およそ3～5日ほどTsmcam1の観測夜が少ないため、Tsmcam2が多く流星を観測している。また、月毎に各ビデオカメラが観測した流星数を観測夜で割った値を1夜あたりの流星観測数として計算すると、どの月もTsmcam2が多く流星を観測している（表3）。ある程度の流星の観測数がある8～11月までのデータで見ると、平均しておよそ1.45倍程多くの流星を捉えていた。

また、Tsmcam1とTsmcam2が観測した同一の流星について、UFOAnalyzerを用いて流星の明るさなどを解析し、その違いを調査した。流星の明るさ（等級）は、観測された流星と一緒に映っているすでに等級がわかっている恒星の明るさを基準に算出される。Tsmcam1とTsmcam2が観測した流星の時間データから同一の流星をサンプルとして選び、解析結果の違いを確認した。な

お、この解析では画像内に月明かりや過度に雲量が多く写っていると、解析結果に大きな誤差が出てしまうため、そのようなデータは除いている。また、レンズ特有の周辺減光の影響はここでは考えないものとする。同一の流星を観測した25例を対象に解析を行った結果、Tsmcam1とTsmcam2で平均して約±0.4等級で解析できていることが分かった。

3.2. 昨年度の観測との比較

次に、ビデオカメラ2台での運用を昨年度の観測と比較した。図7は、今回の観測期間と同じ2021年度（2021年8月5日～2022年2月28日）と2022年度（2022年8月5日～2023年2月28日）の流星観測数を比較したものである。左から順に2022年度の流星観測総数、2021年度の流星観測数、2022年度のTsmcam1のみでの流星観測数を月毎に表している。一方、2021年度と2022年度の月毎の観測夜を比較したものが表4である。ここでの2022年度の観測夜は、Tsmcam1とTsmcam2のどちらか1台でも流星を観測した夜を1夜としてカウントしている。2021年度の観測では、Tsmcam1で使用している

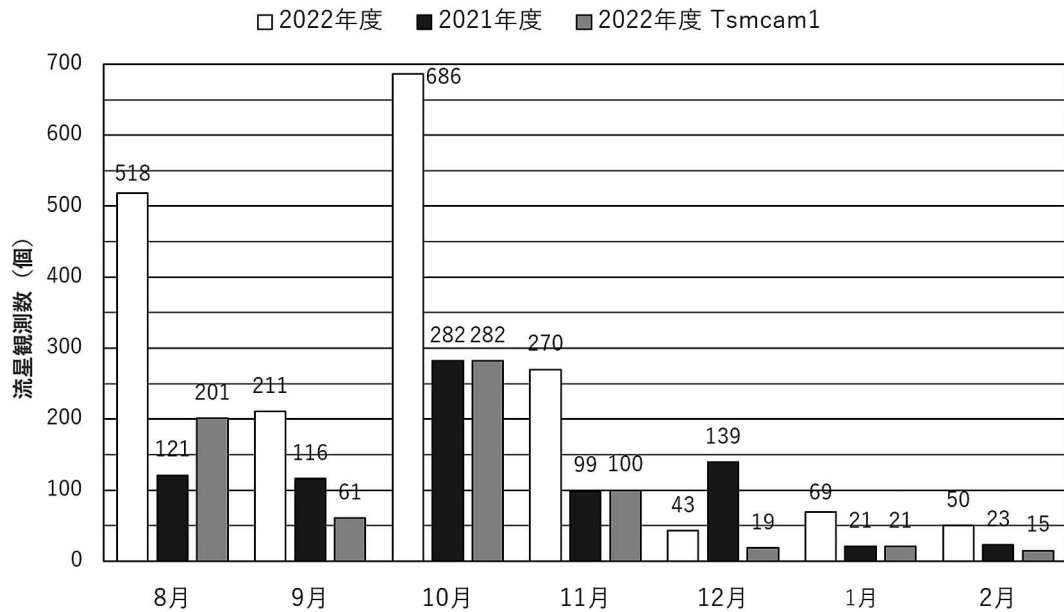


図7 2022年度と2021年度の流星観測数の比較.

表4 2022年度と2021年度の観測夜の比較.

2022年度	2022年8月	9月	10月	11月	12月	2023年1月	2月
観測夜 (夜)	22	17	23	22	6	13	10
2021年度	2021年8月	9月	10月	11月	12月	2022年1月	2月
観測夜 (夜)	23	23	25	18	13	9	8

ビデオカメラとレンズを使用しているため、2022年度のTsmcam1の観測は観測夜が昨年度よりも少ない9月と12月を除いて、毎月ほとんど同等の流星数を観測していることがわかる。そのため、Tsmcam1は、観測場所や設置方法が変更されたものの、昨年の観測状況とほぼ同等の調整ができていたことがわかった。また、今年度の増加分がTsmcam2によるものであるため、流星の記録をよりしっかりと取れていることが分かる。

3.3. 流星群の観測

今回、観測領域を拡張することで、普段よりも多く流星が流れる流星群の活動具合がより正確に捉えられることが期待できる。毎年安定して多くの流星が流れる三大流星群（ペルセウス座流星群、ふたご座流星群、しぶんぎ座流星群）のうち、ふたご座流星群（極大：2022年12月14日22時）としぶんぎ座流星群（極大：2023年1月4日13時）は、ともに天候不良のため極大頃の夜間観測を行うことができなかった。一方、ペルセウス座流星群（極大：2022年8月13日10時）は、極大頃の夜間は天候がよく、観測が行えた。図8は、8月5日～19日未明までの

日毎のペルセウス座流星群由来の流星観測数を示したものである。この流星観測数は、Tsmcam1とTsmcam2の観測領域が被っていることによるダブルカウントを考慮した数である。また、この図の8月5日とは5日晚～6日未明を表す。ペルセウス座流星群の極大予報日から、12日晚～13日未明、または13日晚～14日未明頃が最も多くの流星が流れると想定されたが、11日晚～13日未明にかけては、富山県内は全体的に曇っていたため、どの程度流星が流れたか不明であった。しかし、13日晚～14日未明にかけて多くの流星が観測できた。この時期の観測は、観測が始まった直後で頻繁にビデオカメラなどの調整を行っていた時期でもあるため、今後安定した観測ができるようになれば、流星群の活動をより正確に捉えられるようになることが期待できる。

3.4. 火球について

火球などの明るい流星についても報告する。火球は、流星の中でも特に明るいマイナス4等以上の流星をいうが、ここでは、マイナス3等以上の明るさの流星について取り上げる。図9はその一例で、8月23日0時10分頃

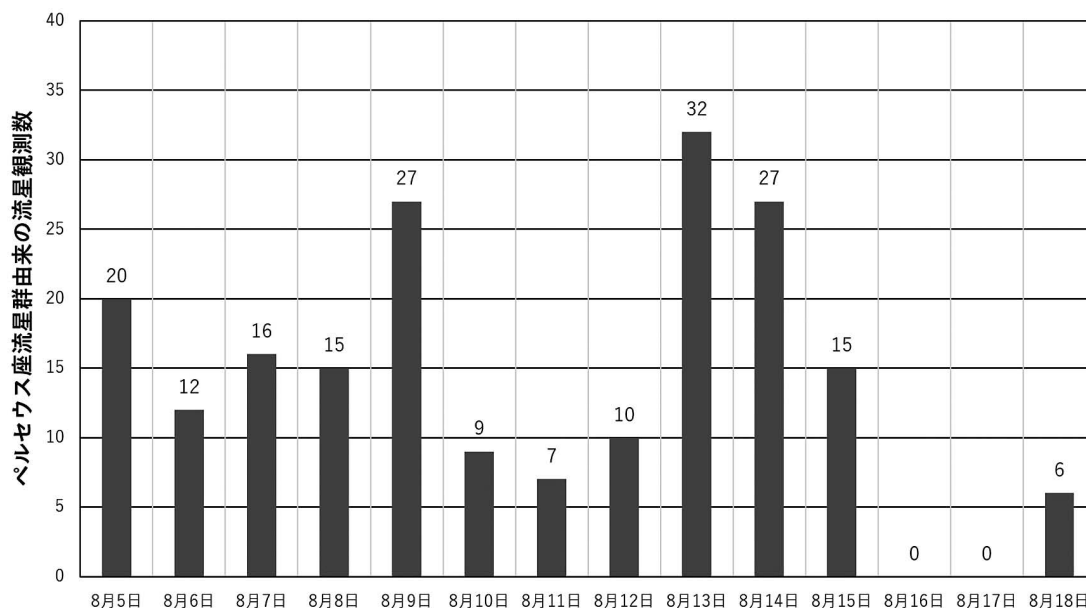


図8 ペルセウス座流星群由来の流星の観測推移。

にTsmcam1が観測した火球である。この火球の明るさは、解析の結果マイナス6.5等級もあり、爆発を伴うものであった。今回、観測された流星を解析した結果、マイナス6等以上が2個、マイナス5等台が3個、マイナス4等台が5個、マイナス3等台が11個の計21個の火球を記録した。

4. まとめ

今回は、富山県内における、流星や火球のより完全な記録の取得のため、観測領域の拡張と感度向上を目指し、高感度ビデオカメラ2台を用いた新たな流星観測システムの構築を行った。新たに導入したTsmcam2のビデオカメラと広角レンズは、従来使用してきた機器と比べると、少し暗いレンズを使用しているため、劇的な感度の向上は実現できなかったが、従来の機器を使用しているTsmcam1よりも1.45倍の数を検出できる観測能力を持つ調整を行うことができた。また、観測領域が拡張できるようになったことは、流星の観測数の向上と流星活動の調査に役立つとともに、市民による火球などの目撃情報などの問い合わせにも活用できる。

2022年度は、観測システムの構築のため、Tsmcam1とTsmcam2の観測領域を一部被る形で調整してきたが、2023年度からは被らない領域に再設置して観測を行う予定である。また、離れた複数地点と同一の流星データを共有することで、その詳細な軌道要素なども算出が可能となる。今後、他の観測者との連携方法も進めていく。

5. 謝辞

本研究を行うにあたり、富山市科学博物館ボランティア



図9 8月23日0時10分に観測した火球。

アの久郷次良氏には、観測装置の設置方法についてご教示いただくとともに、装置の取り付けにかかる金属加工にご協力いただいた。ここに厚く御礼申し上げる。

また、本研究は富山県博物館協会の令和4年度富山県美術館・博物館研究補助「高感度ビデオカメラによる流星と火球の広域観測（富博協第16号）」の助成を受けている。

6. 引用文献

近藤秀作・竹中萌美・林 忠史, 2022. 富山市科学博物館における流星観測記録（2021年度）. 富山市科学博物館研究報告, (46): 113-116.

SonotaCo, 2004. UFOCaptureによる夜空観測ガイド. <https://paperzz.com/doc/5430062/ufocapture-による夜空観測ガイド-sonotaco->. 2023年2月11日閲覧。