

平塚市博物館 天体観察会流星分科会の紹介

平塚市博物館天文担当学芸員 藤井大地
天体観察会流星分科会会員

1. 平塚市博物館のワーキンググループについて

平塚市博物館は、1976年5月に「相模川流域の自然と文化」をテーマに開館した、地域博物館です。人文系(考古・歴史・民俗)と自然系(生物・地質・天文)の合計6分野からなる、総合博物館でもあります。

その基盤となっているのは、博物館の各分野で実施している、年間会員制のワーキンググループ活動です。それぞれの分野に複数のワーキンググループがあり、市民と学芸員が一体となって、調査研究や教育普及、展示などの博物館活動に取り組んでいます。各グループによる探求の成果は、展示や教育普及活動、刊行物として結実します。

2. 天体観察会について

天文分野のワーキンググループには、天体観察会があります。天体観察会の歴史は古く、過去30年以上にわたり、望遠鏡による観察や天文学の勉強を続けてきました。会員数は湘南地域を中心に70名ほどで、遠くは東京や山梨から参加する方もいらっしゃいます。年齢層は子どもから後期高齢者まで様々です。活動時間が夜となることが多いため、小学生は親子同伴で参加いただいています。2020年からは新型コロナウイルス対策のため、Zoomによるオンライン参加も受け付けました。天体観察会の活動の一部を紹介します。

<定例会> 天文現象の説明や博物館からの事務連絡をする会合で、月に1回ほど実施しています。ここ数年の定例会では、オルビス製のコルキット望遠鏡を1人1台ずつ作り、月や太陽、星雲の観察や撮影に挑みました。晴れていれば屋上で、望遠鏡を使った観察や操作実習を行います。

<星を見る会> 当館では月に1回ほど、望遠鏡を使った星を見る会を開催しています。コロナ前は事前申し込みなしの自由参加制で、会員は受付や望遠鏡の操作、誘導、天体の説明などを行いました。特に2018年の火星大接近の際は、一晩で700人以上に及ぶ参加者の観察を補助していただきました。

<こどもフェスタ> 5月のゴールデンウィーク中に、館を挙げて実施する子ども向けのイベント「こどもフェスタ」があります。天文分野では、水ロケットの打ち上げ体験や太陽観察の実演があり、こちらもお手伝いいただいています。毎年、打ち上げを待つ子どもたちで長蛇の待機列になり、ベテラン会員による支援がないと実施することができません。

<文化祭> 毎年2月に、各ワーキンググループが学芸員とともに学び、調べ、研究した結果を、展示・報告会・実演を通して発表します。天体観察会は毎年必ず参加し、1年間の成

果をまとめています(図1)。

〈分科会〉 各天文担当学芸員の専門性を生かし、さらに深く学ぶための会です。太陽分科会・天文学分科会・流星分科会の3つがあり、今回はこのうち流星分科会を紹介します。

3. 天体観察会流星分科会について

2014年に、天体観察会会員がしぶんぎ座流星群の流星を多く撮影したことをきっかけに、会員数20名ほどの天体観察会流星分科会が発足しました。月1回の定例会で、カメラの作製や解析方法の講習、データの共有などを行っています。現在はZoomによるオンライン会議を中心に開催し、カメラの作成や修繕は観測者一人ずつ来館し、個別に対応しています。

発足当初は球面を平面に投影するステレオネットを使い、写真から同時流星を探して、流星の地上経路を計算しました。ただし測定や計算が難しく、挫折する会員も多かったです。このほかにも、プラネタリアムで疑似流星を眼視観測し、観測した数から流星群のZHR(流星の1時間当たりの出現数)を測定することもありました。

2015年には、流星像をデジタルカメラのレンズ前に設置した羽根で切断し、流星の角速度を測る回転シャッター(愛称:流星号、図2)を作成し、会員間での同時撮影に挑みました。流星号はUSBバッテリーでも正確に回転できるように設計し、分断された流星像から、流星の位置や角速度を測定しました。これにより流星の軌道決定が可能になりましたが、一晩で2000枚以上におよぶ画像の確認が必要でした。

2017年は自作の高感度ビデオカメラ(愛称:流星号2)と、フリーウェアの動体検知ソフトを用いたネットワーク観測を開始し、12月までに200個近くの同時流星を得ることができました。しかし、動体検知された動画の解析には複数の処理が必要で、軌道決定には多くの時間を要しました。

2018年には、SonotaCo氏が開発された動体検知ソフト「UFOCapture」を導入し、さら



図1 2019年度の博物館文化祭における天体観察会の展示



図2 デジタルカメラに取り付けた初代流星号

に新センサを使った流星号3でたくさんの流星を効率的に捉えられるようになりました。表1に、これまでの流星分科会の歴史を示します。

4. 同時流星のネットワーク観測方法

流星は高度80km～120km前後で光る現象であるため、異なる場所で同じ流星を撮影したとき、背景に映る恒星の位置が変わります。この視差を利用して流星の位置や速度を計算すると、流星の元となった塵がどこからやってきて、どのように地球大気に落下したのかがわかります。

流星分科会では神奈川県と静岡県内の17か所以上に観測拠点を設け、高感度ビデオカメラによる流星観測ネットワークを構築しました。

ビデオカメラの主力は、暗い流星を狙う流星号2と、明るい流星を狙う流星号3です。観測場所によってはその他のカメラも同時運用し、中には流星のスペクトル撮影用に回折格子を取り付けているカメラもありました。各観測拠点を表2に、各カメラの概略を表3に示します。

ビデオカメラにはCCDやCMOSセンサを使ってきました。初期の流星号2ではソニー製CMOSセンサ「IMX225」を使っていましたが、経年劣化により流星の検知率が低下したため、2020年から「IMX327」への交換を進めています。また、初期の流星号3にはソニー製CCDセンサの「ICX672」を使用していましたが、こちらも劣化が激しく、CCDの生産中止により入手が難しくなったため、IMX327への置き換えを進めています。センサには焦点距離4～8mmの明るいボード用レンズを取り付け、NTSCフォーマットのビデオ信号が出力しています。PCにはUSBビデオキャプチャによって720×480ピクセルのSD画質の映像として取り込んでいます。

表1 流星分科会のこれまでの歴史

年	主な活動
2014	<ul style="list-style-type: none"> ・流星写真とステレオネットを用いて同時流星を探し、流星の地上経路を計算 ・プラネタリウムで投影した疑似流星の眼視観測とZHRの計算
2015	<ul style="list-style-type: none"> ・デジタルスチルカメラに取り付けた羽根で、流星像を切断する回転シャッター(愛称:流星号)を作製し、会員間で同時流星撮影と軌道決定
2016	<ul style="list-style-type: none"> ・暗い流星が写る望遠のビデオカメラ(愛称:流星号2)を作成し、フリーウェアの動体検知ソフト「ContaCam」で流星動画を収集
2017	<ul style="list-style-type: none"> ・大島上空に協働観測視野を設け、各家庭に流星号2を設置 ・解析ソフト「UFOAnalyzer」で、流星の動画から流星の位置、速度を測定 ・解析ソフト「UFOOrbit」で、流星の軌道決定
2018	<ul style="list-style-type: none"> ・動体検知ソフトに「UFOCapture」を導入し、解析作業を効率化 ・より高感度で広角のビデオカメラ(流星号3)を作成 ・御蔵島上空に協働観測視野を追加し、各家庭に流星号3を設置
2019	<ul style="list-style-type: none"> ・劣化した流星号2の修理と流星号3の増設
2020	<ul style="list-style-type: none"> ・流星号2、3のセンサ交換 ・8月21日夜、流星号3の視野に大火球を捉え、落下経路の特定に貢献 ・SF作家 宮西健礼さんの短編SF小説「されど星は流れる」で流星分科会が登場
2021	<ul style="list-style-type: none"> ・ATOM Camを使った観測方法の探究

センサとレンズはタッパーなどを利用したハウジングに格納し、各家庭のベランダや軒下に設置しています。ビデオカメラの方向は各家庭向けやすい南向きの空とし、流星号2は伊豆大島上空100km、流星号3はやや仰角を下げて御蔵島上空100kmを協働観測視野としています。大島上空、御蔵島上空にそれぞれ向けたカメラの視野を、KN6とKN7を例に図3に示します。

映像は、動体検知ソフト「UFOCapture」を使って、リアルタイム処理で動きを検出しています。検出結果には、雲や飛行機、宇宙線、人工衛星を含むため、観測終了後、各観測者が映像を確認して流星のみを選別しています。なお、PCは時刻同期サーバーと5分間ごとに同期し、0.1秒程度の時刻精度を確保しています。

流星の映像は、解析ソフトウェア「UFOAnalyzer」を使い、各観測者が流星の発光

表2 2020年12月時点の各観測拠点とカメラの設置台数

観測拠点ID	観測者	場所	カメラ数	運用カメラ
KN2	藤井 大地	平塚市	1	流星号2(休止中)
KN4	秋山 純代	平塚市	2	流星号2、流星号3
KN5	石井 正一	平塚市	1	流星号2
KN6	岡澤 智	茅ヶ崎市	2	流星号2、流星号3
KN7	清水 紘司	小田原市	2	流星号2、流星号3
KN8	鈴木 節雄	横浜市	1	WAT-902H2U (f=9mm)
KN9	永井 和男	茅ヶ崎市	3	流星号2 流星号3(300本/mm回折格子) WAT-902H2U (f=12mm, 200本/mm回折格子)
KNC	藤木 隆	海老名市	1	流星号2
KND	横関 秀美	平塚市	2	流星号2、流星号3
KNF	小林 隆	平塚市	1	流星号3
KNG	鷹 宏道	大磯町	2	流星号2、流星号3
KNH	戸村 比呂子	藤沢市	1	流星号3
KNI	萩原 亜香	平塚市	1	流星号3
SZ5	藤井 大地	静岡県富士市	1	流星号2(故障していたが11月に復帰)

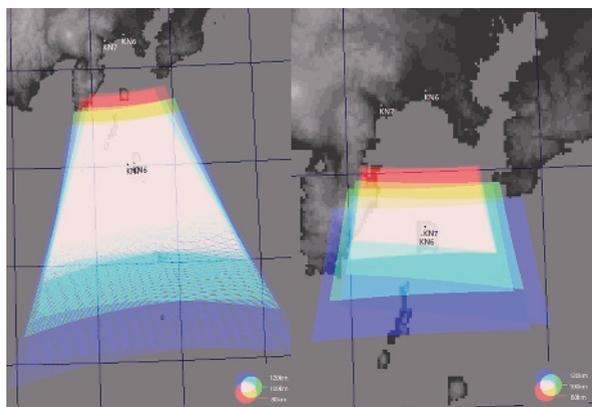


図3 御蔵島上空100kmの視野(KN6とKN7)(左)
大島上空100kmの視野(KN6とKN7)点(右)

位置、発光時間、等級などを計測しています。その後、同時流星の解析ソフトの「UFOOrbit」を使い、「UFO Analyzer」で得られた複数地点の観測データを集計・

表3 各カメラの概略

カメラ名	センサ	サイズ	レンズ [焦点距離, F値]	画角 [水平方向]	流星の 限界等級	協働観測視野
流星号2	IMX225 または IMX327	1/3 インチ	8mm, F1.2	29度	約4等	伊豆大島上空 100km
流星号3	ICX672 または IMX327	1/3 インチ	4mm, F0.95 または 6mm, F0.95	81度 または 52度	約3等	御蔵島上空 100km (一部伊豆大島)

計算し、同時流星の検出や流星の放射点、地表経路、軌道要素を求めています。

5. 2020年の観測結果

2020年1月1日夕方～2021年1月1日朝までの観測で、流星分科会のネットワークで、単地点で検出できた流星の数は26101個でした。2020年を含めた、過去3年間の各月の観測数を図4に示します。流星群が少ない時期や、悪天候が続いた梅雨や秋雨の時期は観測数が減りましたが、10月から12月は多くの流星を捉えることができます。また2019年に比べ、1～10月

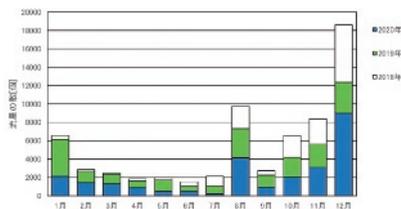


図4 2018年～2020年の各月の流星観測数

表4 軌道計算ソフトUFOOrbitV2による軌道選別条件

UFOOrbitV2のバージョン	V2.54
Computation mode	unified radiant、time mode
Quality condition	Q1、dt<2.0、GD>15、dD<1.0
Shower catalog	ULE_J5.1.csv
Classification condition	priority mode、dr=100、dv=10、ddays 10

の観測数が全体的に少なかったです。故障により観測を休止したカメラが増えた上、センサの劣化によりノイズが増え、流星が捉えにくくなっていた可能性があります。

さらに軌道計算ソフトUFOOrbitにより、表4の条件で観測精度の良い

表5 2018年～2020年の散在流星数と群流星数

年	同時流星数[個]	散在流星数[個]	群流星数[個]	散在流星に対する群流星の割合[%]
2018	1827	1126	701	38
2019	2930	2058	872	30
2020	2751	1819	916	34

流星軌道を選別した結果、2749個の軌道を得ることができました。観測精度の良い同時流星の中で、散在流星は1827個、流星群の流星(群流星)は922個含まれ、全体の33%が群流星でした。過去3年間との比較を表5に示します。

2020年の観測で得られた同時流星の地上軌跡を、図5に示します。白い点とアルファベットは観測点を示し、緑色の線は観測視点から流星の発光点と消失点を結んだ線を示しています。また、黄色の線は流星が光った位置で、赤い点は流星の消失点を示しています。

相模湾の北寄りで流星の密集している場所が暗い流星を狙っている大島上空で、狭い視野であるが流星を多く捉えたことがわかります。南寄りで台形に流星が広がっている場所が明るい流星を狙う御蔵島上空で、広大な視野をまんべんなく観測できたことがわかります。

観測で得られた流星の地心速度分布を図6に示します。群流星はペルセウス座流星群(59km/s)とふたご座流星群(35km/s)の数が多いため、その速度付近にピークが見られています。散在流星は30~40km/s付近と、60km/s付近にピークを持っています。散在流星の種類のうち、黄道流星群などのAnti-helionソースと、地球と正面衝突する南・北Apexソースが捉えられていると考えられます。

観測で得られた流星の絶対等級分布を、図7に示します。主に-3等から3等の流星を観測していて、0等台の流星を最も

多く観測していたことがわかります。また、期間中に火球クラスの明るい流星をいくつか観測できていますが、カメラが白飛びしてしまい、正確な測光ができていないケースがあります。

中でもとくに明るかったのが、2020年8月21日22時33分に流れた大火球でした。火球を狙っている南向きの御蔵島上空のカメラの中心に流れたため、多くの会員のカメラが捉えました。各会員が捉えた映像の比較明合成画像を図8に示します。

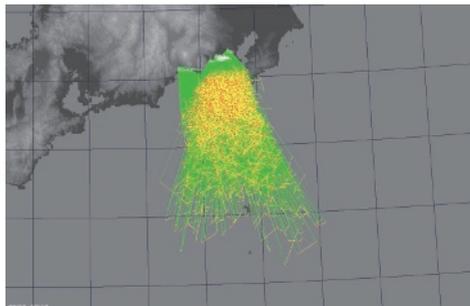


図5 2020年の観測で得られた同時流星の地上軌跡(白い点:観測点、緑色の線:視線方向、黄色の線:流星、赤い点:流星の消失点)

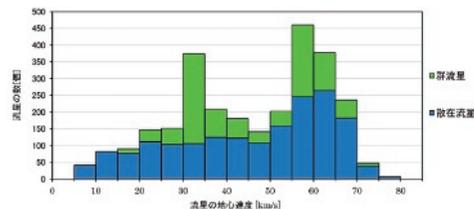


図6 2020年の観測で得られた同時流星の地心速度分布

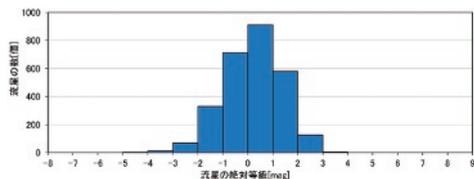


図7 2020年の観測で得られた同時流星の絶対等級の分布



図8 2020年8月21日22時33分に捉えた大火球の比較明合成画像
(左から右下に、KN4_02、KN6_02、KN7_02、KN9_02、KND_02、KNB_Sの撮影)

火球は画像の右上から左下に向かって流れ、最も明るい線が火球の本体で、近くに並んでいる線はゴーストによる虚像です。KN9の02カメラでは、火球のスペクトル撮影にも成功し、火球の左右に並んでいる光は、分光された光です。

この火球の地上経路と日心軌道を図9に示します。どのカメラの映像も位置測定ができたのは火球の光り始めの部分で、KN6_02とKN7_02の測定結果から、精度の良い軌道を得ることができました。火球は、伊豆大島の南岸の上空の高度86.3kmから観測速度14.8km/s、突入角41.2度で突入し、高度55.7kmまで光りました。また、この火球は小惑星帯から来ました。軌道要素を表6に示します。

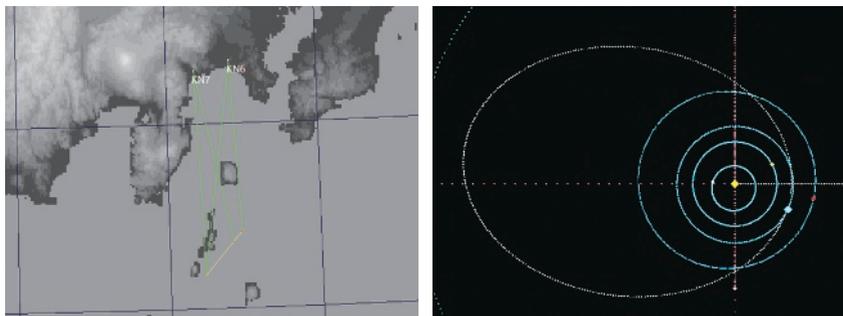


図9 平塚から南東に向けた広角カメラが捉えた火球の地上経路(左)と日心軌道(右)

映像の解析結果は、大気圏内の発光現象の観測情報を交換するインターネット上の任意団体「SonotaCo Network」に送付し、他の観測地点のデータと2020年7月に落下した習志野隕石火球の数倍から10倍程度の質量の隕石落下の可能性があることがわかりました。

ただし、落下地点は房総半島沖の海上であることから、回収できないこともわかりました。

次に、2020年の観測で得られた同時流星の放射点分布を、図10に示します。縦軸を放射点の黄緯、横軸を放射点の黄経と観測時の太陽黄経の差とし、左手が太陽方向、右手が反太陽方向です。図の中心が地球向点となり、黄経の差が270度、黄緯が0度の中心に向かって地球が進んでいます。雨(流星)の中を進む車(地球)に例えると、中心がフロントガラスにぶつかる雨粒を見ていて、左右がドアガラスにぶつかる雨粒を見ています。色の濃さは流星の地心速度を示し、地球向点に近いほど高速で地球大気突入しています。左側は太陽方向のため、明け方や夕方に観測される突入角の非常に浅い流星以外は観測できていません。濃く集まっている部分は、各群流星の放射点です。

6. 今後に向けて

これからも市民による流星のネットワーク観測を継続し、各群流星や散在流星の軌道を細かく見ていきたいと考えています。また、もっと手軽に流星観測が行えるように、観測機材や解析手順を引き続き追求していく予定です。現在は、広く普及している家庭用WEBカメラ「ATOM Cam」を使った明るい流星の観測に挑んでいます。

流星観測は海岸のビーチコーミングのようなもので、渚に転がる漂着物から遠い外国に思いをはせるように、宇宙の渚に降る流星から、地球に居ながらにして遠い宇宙を見渡すことができます。あなたもぜひ、流星観測を始めてみませんか？

観測放射点位置	赤経275.9° 赤緯-14.5°
観測速度 V_o	14.8km/s
地心速度 V_g	10.0km/s
日心速度 V_s	37.9km/s
軌道長半径 a	2.8au
近日点距離 q	0.976au
離心率 e	0.653
近日点引数 $peri$	204.5°
昇交点黄経 $node$	148.7°
軌道傾斜角	2.3°

表6 2020年8月21日22時33分に捉えた大火球の軌道要素

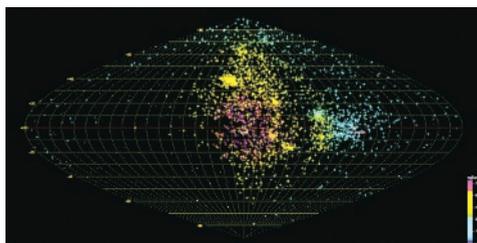


図10 2020年1月～12月の観測で得られた全流星の放射点分布(黄道座標)

著者紹介 藤井 大地(ふじい だいち)



平塚市博物館の天文担当学芸員。プラネタリウム生解説や展示、教育普及活動を行っている。これまで、特別展「知られざる平塚のロケット開発」や「火球と隕石」を担当した。また平塚の自宅と富士の実家を拠点に、流星や月面衝突閃光、人工衛星の定点観測を続けている。