流星観測環境の構築およびそれによる散在流星と流星群の観測

誌名	北海道教育大学紀要. 自然科学編
ISSN	13442570
著者名	阿部,みさと 大島,和樹 関口,朋彦
発行元	北海道教育大学
巻/号	66巻2号
掲載ページ	p. 1-11
発行年月	2016年2月

北海道教育大学紀要（自然科学編）第66巻　第２号　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　平 成 28 年 2 月
Journal of Hokkaido University of Education（Natural Sciences）Vol. 66, No.2　　　　　　　　　　　　　　February, 2016

流星観測環境の構築およびそれによる散在流星と流星群の観測

― 流星体起源と流星群の特徴の追究 ―

阿部みさと・大島　和樹*・関口　朋彦*

北海道教育大学旭川校理科教育学研究室

*北海道教育大学旭川校天文学教室

Development of a Meteor Observing System and Observations of a Sporadic Meteor and Meteor Showers Using the System

― Investigation of the Origin of a Meteoroid and Characteristics of Meteor Showers ―

ABE Misato, OSHIMA Kazuki* and SEKIGUCHI Tomohiko*

Department of Science Education, Asahikawa Campus, Hokkaido University of Education

*Department of Astronomy, Asahikawa Campus, Hokkaido University of Education

ABSTRACT

We here report on observations of a sporadic meteor and 28 meteor showers using a newly developed observing system. Since our old observing facility needed to set the observing tools each observing night, a quasi-permanent stable system was newly developed. This system allow us to perform observations avoiding coarse weather conditions such as rain, snow, wind and dew condensations. Two sites observations were carried out to derive the orbital elements of a sporadic meteor, and 1 site observations were conducted to obtain the characteristics of meteor showers. As a result of our quantitative analysis, the dust particle from the parent object of the meteor was deduced to be originated from an undetected short period comet. The derived characteristics of 28 meteor showers from 130 observations were consistent with the published data so far.

1　はじめに

1．1　流星と流星体

日本流星研究会のHPによれば，流星とは，太陽系空間を公転運動していた流星体が地球大気に飛び込んできて，発光する現象である（実際には，流星体が「飛び込んでくる」のではなく，地球にいる観測者から，流星体が「飛び込んできたよう

に見える」のである)。そして，この流星体は，ケイ酸塩鉱物を主成分とする数mm～数cmほどの塵粒子で，彗星や小惑星を母天体（流星体の元になる天体）とする。例えば，ケイ酸塩鉱物の塵粒子を数多く含む氷でできた彗星核が，太陽付近を通過したときに太陽の熱で昇華することによって解放された塵粒子や，小惑星どうしが衝突した際に発生した小さな破片が，流星体になるのである。

1．2　発光のメカニズム

流星体は，地球大気に突入すると，大気中の酸素や窒素を押しのけるため，大気の断熱圧縮によって表面温度が約2000℃に達するまで加熱され続ける（一般にこの温度に到達するのが高度115km)。この温度に到達すると，流星体の表面の物質の原子や，押しのけられて加速された大気分子，そして，加速された分子に衝突された大気分子は励起状態になる。

また，流星のイオンと大気の原子との衝突により，プラズマが生じる。加熱や，プラズマによって励起された原子は不安定であるため，基底状態に戻ったり，電子またはイオンと再結合したりするが，その際に原子に特有の光である再結合線を放出し，発光する（Martin Beech, 2009; Iye et al., 2007)。

1．3　流星の種類

1．3．1　群流星

周期彗星は，彗星が何度も太陽の周りを周回することで，ダストがその軌道上に帯状に広がる（ダストトレイル)。このダストトレイルと地球の公転軌道が交わっている場合，地球が公転するとダストトレイルとの交点で，大量の塵粒子が地球大気に飛び込んでくるように見える。これを流星群と言い，流星群に属している流星を群流星という。群流星の流星体は，母彗星と同じ軌道で運動しているため，流星体軌道は既知である。

1．3．2　散在流星

一方，流星群に属していない流星のことを散在流星といい，一時間当たりの観測数（HR）は10個ほどである。散在流星は母天体がわかっていないため，その流星体軌道は未知である。散在流星の流星体軌道は，後述の二地点観測を行わなければ求めることができない。

1．3．3　発光高度と速度，光度，質量

流星の発光する高度は，ほとんどが85～115kmである。流星体の初期速度を計測すると，最小11.2km/sから最大72.8km/sまで多様である。この最小値は，地球の第二宇宙速度（物体が地球の重力を振り切って放物運動する最小の速度）11.2km/sと関連している。これは，流星体が無限遠から地球の重力のみによって落下してくるときに，その流星体がもつであろう速度である。また，最大速度の72.8km/sは，太陽系の脱出速度42.5km/sをもっている流星体が，公転速度30.3km/sの地球と正面衝突した場合の速度である（Martin Beech, 2009.)。

流星の最高光度について簡潔に言えば，大質量で速い流星体は明るい流星となり，小さく遅い流星体は暗い流星となる。

2　研究の目的

本研究では，以下の３点を目的とした。

1）本研究室の過去の研究より多くの群流星を観測し，それぞれの流星体の特徴を解析することで，流星群としての特徴を追究すること。

2）これまでより多くの二地点同時観測流星を観測し，それぞれの流星体の特徴を解析することで，各流星体の母天体を追究すること。

3）目的１)，２）の達成のために，観測機器の保護と観測の効率化を目指し，本校屋上で恒常的な観測機器の設置を可能とする開発研究を推進すること。

3　研究の方法

観測に使用した機材は以下の通り。

・CCDビデオカメラ：WAT-100N（WATEC）
・リモートコントローラー：WAT-100NRM（WAT-100Nに付属）
・レンズ：HG0808AFCS-HSP（CGC）
・ビデオカード：GV-USB（I-O DATA），PCA-DAV3A（PRiNCETON）
・コンピューター：LET'S NOTE（Panasonic），LIFEBOOK（Fujitsu），dynabook（TOSHIBA）
・ソフトウェア：UFOCaptureV2，UFOCapture HD2，UFOAnalyzerV2，UFOOrbitV2（SonotaCo Network Japan）

3．1　開発研究

これまでの本研究室における流星観測では，コンピューターやカメラなどの観測機器を屋外に設置して行っており，本研究でも，10月上旬までは，この観測方法を採用していた（図1）。

図1． 本校屋上に設置した観測機材の配置

左：結露防止用扇風機，中央：三脚に取り付けたCCDビデオカメラ，右：コンピューター，手前：その他の観測機器を収納したプラスチックコンテナ。

しかしこの方法では，観測中にカメラの視野がずれる，結露や突然の雨から観測機器を保護することができていない，などの課題があり，観測の失敗や観測機器の故障につながり兼ねない。そこで，本研究では新たに

1）屋外に設置した観測機器の結露・風雨対策およびカメラの視野の固定。
2）コンピューターを屋内に設置したまま観測できる環境の構築。

の2点を目指した開発研究を行った。

まず，観測に使用するカメラやレンズの保護のため，ステップアップリングとレンズプロテクター，レンズフード，ビニール製のテーブルクロスを加工したカバーを取り付けた（図2～図5）。

図2． 導入した光学部品

左上：ステップアップリング（左：52mm→72mm，右：40.5mm→52mm），右上：レンズプロテクター，下：レンズフード。

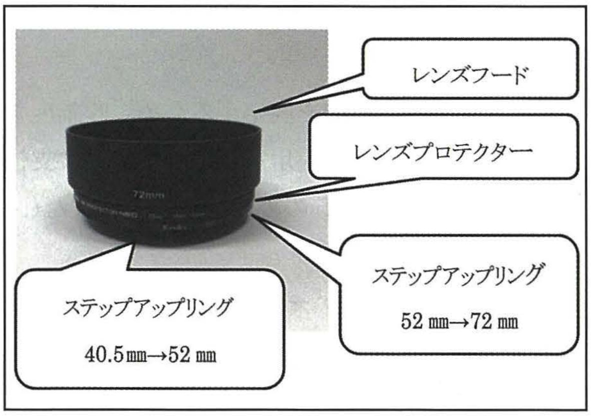

図3． 新導入レンズフード

図2の各光学部品を組み立てたレンズフード部。

図4．完成した光学系

図３のレンズフードおよびレンズ，CCDビデオカメラを組み立てた。

図5．カメラアームへの固定

図４を，結露・風雨防止のため，テーブルクロスのカバーで覆い，全体を支柱に取り付けるためのカメラアームへ固定した。

ケーブルを配線した後に，カバーの口をアームに密着させ，マジックテープを用いて固定することで，カメラとレンズを結露や風雨から保護できるようになった。

また，カメラの視野を固定するため，昨年度まで使用していた三脚の使用を止め，代わりに支柱を屋上に固定して，図５のカメラを取り付けた（図６）。

そして，USB延長ケーブルを屋上から天文学実験室に導入し（図７），屋上の観測機器と実験室内のコンピューターとを接続することで，屋内にコンピューターを設置したまま観測ができる環境を構築した。これにより，コンピューターを保護できるようになった。

図6．観測機器を屋上に設置した様子

本校屋上に設置した支柱の上部に，図５のカメラ本体を取り付けた。手前は，その他の観測機器が収納されたプラスチックコンテナ。

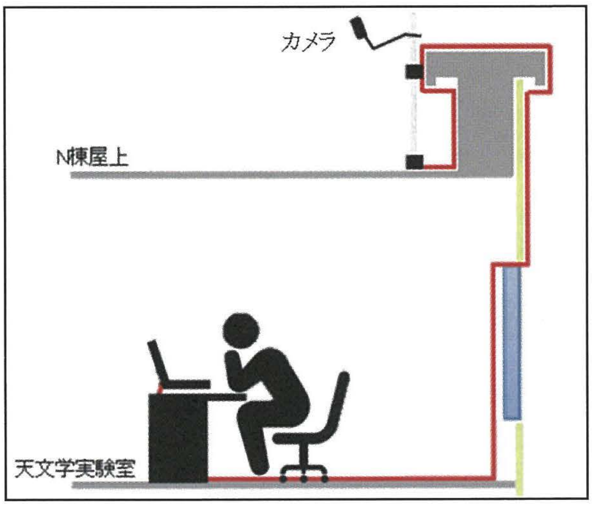

図7．コンピューターとカメラの位置関係の模式図

下部：室内の様子。上部：図６の設置したカメラ。赤線はカメラとコンピューターを接続するUSB延長ケーブルを表している。

３．２　観測研究

観測方法には，一地点から観測する一地点観測と，数十km以上離れた二地点間の上空を同時に観測する二地点観測がある（図８）。

一地点観測では，流星の発光点と消滅点を知ることができるが，流星の軌道を決定することができない。したがって，この観測で記録した流星の

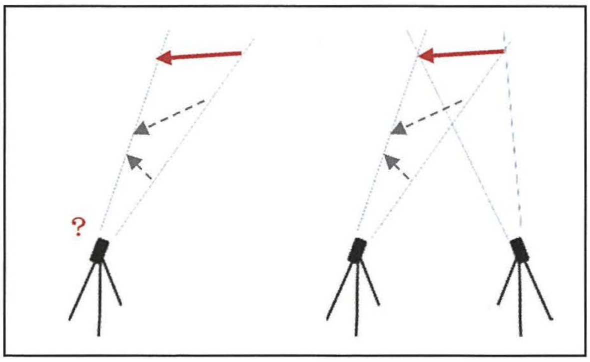

図８．一地点観測（左）と二地点観測（右）

一地点観測では，流星の発光点と消滅点を知ることができるが，運動経路の奥行がわからないため，流星の軌道を決定することができない（実際の流星体軌道を図中の━━▶だとした場合，奥行きがわからないため，運動経路は図中の- - - -▶などの可能性もあり，軌道を特定できない)。これに対し，二地点観測で同一の流星を同時に観測することができれば，流星体の運動の奥行がわかり，流星の軌道を決定することができる。

うち，速度が求められるのは，軌道が既知の群流星のみである。これに対し二地点観測では，２台のカメラで同時にとらえた１つの散在流星（これを，本研究では二地点同時観測流星と呼ぶこととした）について，その軌道を確定することができる。したがって，軌道が未知の散在流星の，軌道や発光高度，速度を求めるためには，二地点で観測をすることが必要である。

一地点観測は，北海道教育大学旭川校Ｎ棟屋上（北緯43.79°，東経142.35°，標高121m）で，二地点観測はこの地点と，大雪山自然教育研究施設「六稜山荘」（北緯43.65°，東経142.80°，標高1100m）でそれぞれ行った（図９）。二地点観測の際，二地点間の距離は少なくとも数十km離れているのが良いとされるが，この二地点間の直線距離は約39.1kmであるため，観測に適していると言える。

図９．北海道教育大学旭川校と六稜山荘の位置関係
国土地理院ホームページより。

二地点観測の際，二地点の中点の上空100kmがカメラの視野に入るよう，カメラの仰角を決定した。したがって，

$$仰角 = \arctan\frac{高度}{(二地点間の距離/2)}$$

の式で求められ，

$$\arctan\frac{100}{19.55} = 78.9^\circ \fallingdotseq 79^\circ$$

となるため，カメラの仰角は約79°である。

2014年度は，2014年４月から2015年１月までに，一地点観測を58回，二地点観測を20回計画しが，悪天候のため実施できない日があり，観測ができたのは一地点観測が26回，二地点観測が６回であった（表１)。

表１．2012～2014年度の観測状況の比較

観測期間（年度）	2012	2013	2014
実施した一地点観測の回数（回）	20	17	26
実施した二地点観測の回数（回）	2	2	6
観測した流星群の種数（種）	12	19	28
観測した群流星の個数（個）	138	93	130
観測した二地点同時観測流星の個数（個）	3	4	1

３.３　解　析

全観測データの解析には，UFOAnalyzerV2を，二地点同時観測流星の検出・解析には，

UFOOrbitV2を使用した。前者は，観測に用いたUFOCaptureで記録された動画ファイルから，位置，速度，直線性などを分析するソフトウェアであり，観測視野内の恒星位置から自動的にレンズ収差を補正し，対象の方位仰角を測定できる。流星については，その侵入方向と速度から可能性のある既知の流星群を自動判定することが可能である（図10)。

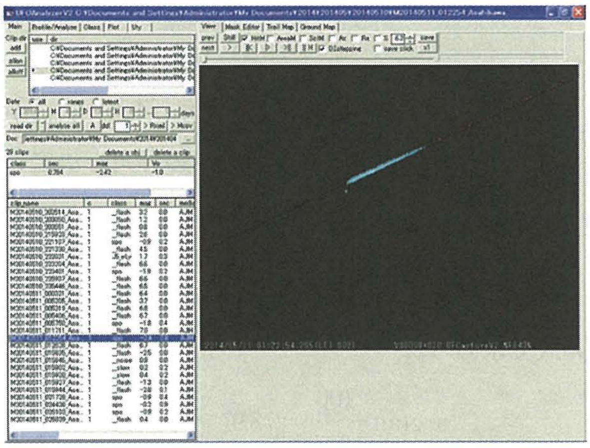

図10. UFOAnalyzerV2解析後画面

右側の黒い画面が実際に撮影した空であり，その中央の水色の線が録画した流星である。左にはそれぞれの動体に対する解析結果が表示される。

また後者は，UFOCaptureで記録した二地点分の動画ファイルから二地点同時観測流星を検出し，その流星体の軌道や速度を計算・閲覧するためのソフトウェアである（図11)。

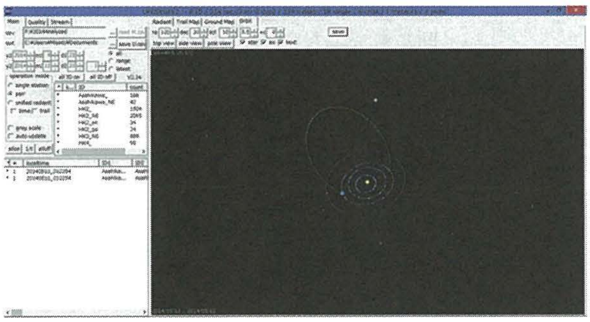

図11. UFOOrbitV2解析後画面

右側の黒い画面が，解析して得た散在流星の軌道を表している。左側には，検出した二地点同時観測流星の録画時刻などのデータが示されている。

本研究の解析時に，

1）観測データの中に，再生や解析のできない「破損データ」があること。

2）UFOAnalyzerでの判定の一部に明らかな誤りがあること。

の２点が新たにわかった。２）に関して具体的には，動画ファイルに虫や鳥などの動物が撮影されているにもかかわらず，解析によって流星と判定されてしまうものや，UFOAnalyzerV2の仕様によって動体が１つであるのに複数検出されるものがあった。そこで，手動で破損データを区別したり，判定を書き直したりする「再分類」という作業を，本研究から取り入れた。

４　結　果

４．１　開発研究について

本研究の成果は，以下の４点である。

1）カメラにフードやカバーなどを装着したことで，突然の雨や雪からカメラやレンズを保護することができるようになった。

2）屋外に設置したカメラと実験室内のコンピューターを接続できたことで，観測の遠隔化に成功し，コンピューターを雨や結露などから保護することができるようになった。

3）コンピューターを室内に設置して観測ができるようになり，機材や録画の状況を確認しやすくなった。

4）カメラを取り付けるための支柱を，屋上に常設したことで，カメラの視野を固定できるようになり，観測・解析の効率化につながった。

しかし現段階では，冬季におけるカメラの凍結やカメラへの積雪などの課題があり，カメラを屋上に常設することはできていない。今後，観測機器を常設し，完全な遠隔化を実現するためには，

1）CCDカメラへの結露・凍結防止

2）六稜山荘に観測機器を常設する方法の考案

3）六稜山荘への，ネットワーク環境の導入

の３点の課題を解決することが求められる。

4.2　観測研究

全データの解析結果は，図12の通り。

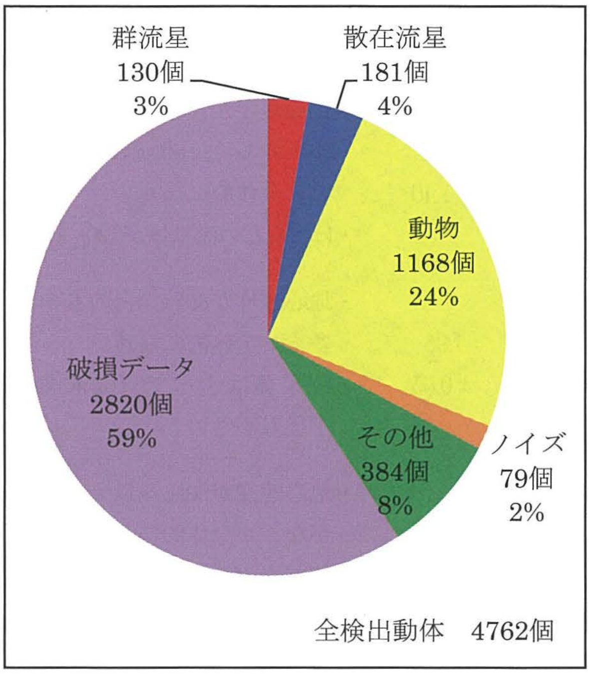

図12. 各検出動体の種別割合

虫や鳥などの動物に分類されるものが観測データ全体の約４分の１に，また，破損データが約６割にものぼることがわかる。

4.2.1　各流星群の傾向

2014年度は，28種類130個の群流星を観測でき，おとめ座h流星群，12月りゅう座κ流星群の２種類の新群の観測にも成功した。表２に，観測数が５個以上であった群の観測等級，発光継続時間，地心速度，流星体質量，流星体半径を示す。

また，過去２年分の観測データと統合し，観測数が合計15個以上となった４つの群について特徴を導出し，公表されているデータと比較した。

① みずがめ座δ南流星群(SDA)：観測数18個
- 平均地心速度は42.5km/sで，全体的に地心速度が40km/sのものが多く，中速。

② ペルセウス座流星群(PER)：観測数127個
- 地心速度が60km/sのものが圧倒的に多く，全体的に高速。
- 流星体は0.10g未満のものが多い。

③ おうし座南流星群(STA)：観測数22個
- 1.0～1.9等級のものが多い。
- 地心速度が45km/s以上のものがなく，全体に低速。

④ オリオン座流星群(ORI)：観測数28個
- 地心速度が70km/s台のものが多く，全体に高速。
- ほとんどの流星体が0.20g未満。

表２. 今年度観測できた流星群の特徴

群	観測数(個)	観測等級(等)	発光継続時間(s)	地心速度(km/s)	流星体半径(mm)	流星体質量(g)	特徴
LYR	27	−0.8 ±1.9	0.30 ±0.15	51.4 ±5.3	3.52 ±6.61	7.30 ±4.97	・地心速度が40～59.9km/sのものが多く，全体的に中速。 ・流星体は質量・半径ともに大きいものが多い。
SDA	6	0.8 ±1.3	0.26 ±0.13	41.6 ±6.5	0.58 ±0.91	4.42 ±2.32	・地心速度が40km/s台のものが多く，全体的に中速。
PER	5	1.0 ±1.7	0.19 ±0.04	47.6 ±11.5	0.28 ±0.30	3.60 ±1.76	・発光継続時間はすべての流星で0.15～0.30s。 ・地心速度はばらつきがあるが，全体的に中速。 ・流星体は0.10g未満のものが多い。

STA	14	1.2 ±0.9	0.37 ±0.17	32.6 ±4.9	0.54 ±0.75	4.75 ±1.83	・地心速度が30km/s台前半のものが多く，45km/s以上のものは観測できなかったことから全体的に遅め。
ORI	19	0.1 ±1.1	0.20 ±1.00	76.1 ±5.7	0.18 ±0.24	3.24 ±1.40	・地心速度が70km/s台のものがかなり多く，60km/s未満がない。全体的に高速。 ・ほとんどの流星体が0.20g未満。
LEO	6	1.1 ±0.5	0.14 ±0.13	74.5 ±13.5	0.03 ±0.03	1.95 ±0.65	・地心速度が80km/s台のものが多く，全体的に高速。 ・流星体はすべて0.10g未満。半径も小さい。
NTA	7	0.4 ±1.5	0.44 ±0.27	29.9 ±6.0	8.87 ±20.08	8.28 ±7.36	・地心速度が50km/s以上のものがなく，全体的に遅め。 ・流星体は1.00g以上のものが多い。
GEM	8	-0.1 ±1.1	0.23 ±0.08	39.7 ±4.7	1.01 ±1.21	5.68 ±2.53	・地心速度が40km/s台のものが多く，全体的に中速。

群の略符はそれぞれLYR：４月こと座流星群，SDA：みずがめ座δ南流星群，PER：ペルセウス座流星群，STA：おうし座南流星群，ORI：オリオン座流星群，LEO：しし座流星群，NTA：おうし座北流星群，GEM：ふたご座流星群を表している。誤差は標準偏差。

４．２．２　二地点同時観測流星の母天体

2014年度の研究では，５月11日１時22分54秒に１個の二地点同時観測流星を観測できた（図13，図14）。

図13. UFOCaptureで記録した二地点同時観測流星
旭岳で記録した二地点同時観測流星の様子。

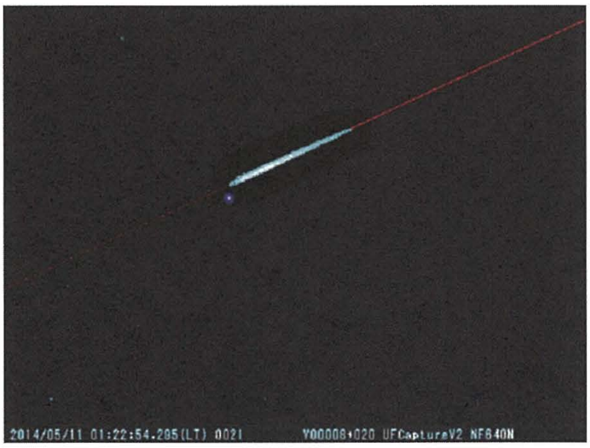

図14. UFOCaptureで記録した二地点同時観測流星
教育大で記録した二地点同時観測流星の様子。

UFO Orbitを用いて，この二地点同時観測流星の流星体軌道を導出すると，軌道の形は図15のようになり，軌道要素は表３となった。

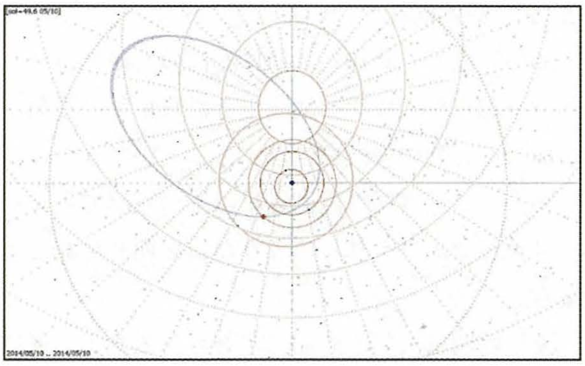

図15. 二地点同時観測流星の軌道

UFOOrbitの解析で得た二地点同時観測流星の流星体の軌道を，黄道面を真北から見た図（色を反転した）。青色の楕円が流星体の軌道であり，中心の青色点が太陽，その周りの赤色の楕円は各惑星の軌道である。

表３. 二地点同時観測流星の軌道要素

軌道要素	分析値	軌道要素	分析値
軌道長半径：a	2.47 au	近日点引数：ω	274°
近日点距離：q	0.538 au	昇交点黄経：Ω	49.7°
離心率：e	0.782	軌道傾斜角：i	11.2°

５　考　察

５．１　流星群の傾向

「４ 結果」に示した各群流星の傾向を，公表されているデータ（表４）と比較すると，地心速度，特徴ともに類似していることがわかった。したがって，本研究では信頼性の高いデータを得られたと言える。

表４. 公表されている群流星の特徴（理科年表・日本流星研究会HP）

群	地心速度(km/s)	特徴
SDA	38.6	中速。
PER	58.6	速。流星痕。
STA	29.6	緩。火球。
ORI	64.5	速。流星痕。

また，このことから，流星群の特徴を正確に求めるためには，流星群の観測数を増やすだけでなく，今後も観測を継続し，データの蓄積数を増やしていく必要がある。これにより，観測数が少なく，特徴を導出することが難しかった流星群についても，特徴を導出できる可能性があると言える。

５．２　二地点同時観測流星

軌道要素や軌道の外観からは，その母天体が短周期彗星か地球近傍小惑星（NEAs; Near Earth Asteroids）か断定できない。そのため，流星体の母天体を判別する以下の式“Tisserand parameter”(Weissman, et al. (2002))を用いた。

$$T=\frac{a_{\mathrm{j}}}{a}+2\sqrt{\frac{a}{a_{\mathrm{j}}}\times(1-e^2)}\times\cos i$$

Tは流星体の相対速度の尺度，a_{j}は木星の軌道長半径（=5.20 au）を示す。Tの解で流星体の母天体を判別することができ，$3<T$ならば小惑星，$2<T<3$ならば短周期彗星，$T<2$ならば長周期彗星である。本研究で観測した二地点同時観測流星の軌道要素（表３）を代入するとT=2.95となるるため，流星体の母天体はエンケ彗星（表５，図16）のような短周期彗星だと判断する。

表５. エンケ彗星の軌道要素

軌道要素	公表値	軌道要素	公表値
軌道長半径：a	2.21 au	近日点引数：ω	187°
近日点距離：q	0.336 au	昇交点黄経：Ω	335°
離心率：e	0.848	軌道傾斜角：i	11.8°

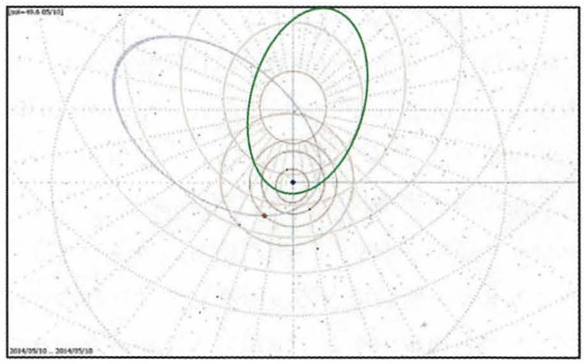

図16. エンケ彗星の軌道

図13に，エンケ彗星の軌道（緑色の楕円）を重ねた。軌道の形状が似ていることがわかる。

6　まとめ

6．1　開発研究について

本研究により，観測機器の保護と観測の効率化の実現を可能とする観測環境を構築できた。これにより2012・2013年度より改善した点と，今後の課題として残った点を以下に示す。

改善した点は，

1）カメラにフードやカバーなどを取り付けることで，レンズを保護するとともに，都市光の一部を遮断できるようになった。

2）コンピューターを室内に設置して観測できるため，結露や突然の降雨・降雪など，物理的な故障要因への対策ができ，また，観測状況も即時に確認できるようになった。

3）屋上に支柱を常設したため，カメラの視野の固定が可能となった。

4）観測の際の，準備や片付けの時間を短縮できた。

の４点である。これにより，観測機器を保護できる上，観測をより効率よく行えるようになり，観測環境が改善したと言える。

次に，今後の課題を記す。

1）カメラの更なる保護（凍結防止用ヒーターの取り付け，風雨・結露対策の強化，など）を進め，屋上に固定・常設すること。

2）六稜山荘など，本大学から数十㎞以上離れた地点にも，無人観測環境を構築し，晴天時に確実に二地点観測ができるようにすること。

これは，より多くの群流星（特に新群など，特徴がよく追究されていない流星群）や二地点同時観測流星を観測するためである。六稜山荘への無人観測環境の構築は，本研究でも検討したが，ネットワーク環境がなく，冬季の積雪の多さを考慮するとカメラを常設できる場所を見つけられなかったことなどの理由から，実現できなかった。そのため，今後の研究には，ネットワーク環境の確保と，カメラを常設する手段の考案が急がれる。

6．2　観測研究について

2014年度は，約10か月間に29回の観測を行い，2012・2013年度に比べ観測できた流星群の種数が増加し，各群の特徴を追求することができた。

また，二地点同時観測流星は１つ観測でき，その母天体はエンケ彗星のような短周期彗星だと考える。

流星観測は天気や時間に左右されるため，先にも述べたが，無人でも観測できる環境の整備が，観測の効率化への近道であることを再認識した。

６回の二地点観測実施にもかかわらず，二地点同時観測流星が１つしか観測できなかった原因としては，解析時のUFOOrbitの設定についても考えられる。2014年度は，二地点同時観測流星の判定基準を，最も厳しいものにした。これにより，１つではあるが，ほぼ確実に二地点同時観測流星であるものを検出できた。2013年度までのUFOOrbitでの解析時の設定に関するデータはないが，基準を最も低いものにしていたためか，３つの二地点同時観測流星が観測できたという結果は出ているものの，検出時刻が二地点で大きくずれているなど，その信憑性は低かった。したがって，今後の研究で二地点同時観測流星を検出する際は，その基準を最も厳しいものにして行っていくべきだということがわかった。

参考文献

1）Christopher E. Spratt (1990). *The hungaria group of minor planets*. Journal of the Royal Astronomical Society of Canada (abstract) 84(2), 123–131.

2）Donald K. Yeomans (2014). 山田陽志郎（訳）『地球接近天体　いかに早く見つけ，いかに衝突を回避するか』地人書館

3）Iye,M., Tanaka,M., Yanagisawa,M., Ebizuka,N., Ohnishi,K., Hirose,C., Asami,N., Komiyama, Y., and Furusawa,H. (2007). *SuprimeCam Observation of Sporadic Meteors during Perseids 2004*. Publ. Astron. Soc. Japan, 59(4), 1–14.

4）JAXA宇宙情報センターホームページ〈http://spaceinfo.jaxa.jp/〉

5）国土地理院ホームページ〈http://maps.gsi.go.jp/

#11/43.685253/142.527008〉. 2015年12月13日アクセス
6）国立天文台（2012）.『理科年表』丸善出版
7）国立天文台ホームページ〈http://www.nao.ac.jp/〉. 2015年12月29日アクセス
8）L. R. Bellot Rubio, J. L. Ortiz & P. V. Sada（2000）. *Luminous efficiency in hypervelocity impacts from the 1999 lunar leonids*. The Astrophysical Journal, 542, 65-68.
9）Martin Beech（2009）. 長谷川一郎・十三塾（訳）『天体観測の教科書』流星観測編 誠文堂新光社
10）長沢工（1997）.『流星と流星群』地人書館
11）NASAホームページ〈http://www.nasa.govindex.html〉. 2015年12月29日アクセス
12）日本流星研究会ホームページ〈http://www.nms.gr.jp/〉. 2015年12月29日アクセス
13）Paul R. Weissman, William F. Bottke Jr. & Harold F. Levison（2002）. *Evolution of Comets Into Asteroid*. Asteroids III, 669-686.
14）流星電波観測国際プロジェクト〈http://www.amro-net.jp/hro_index.htm〉. 2015年12月29日アクセス

図の引用

1）HUMAN PICTGRAM 2.0〈http://pictogram2.com/?p=2165〉. 2015年12月29日アクセス

（阿部みさと　旭川校大学院生）
（大島　和樹　旭川校学生）
（関口　朋彦　旭川校准教授）