

天空の花火「ペルセウス座流星群」の研究

岡本 紗枝, 川崎 日向子, 中原 徹也

指導教員 前原 英夫, 戸田 洋平

要約

突然夜空を流れ消えていく流星は謎に満ちている。私たちは真夏に極大を迎えるペルセウス座流星群の研究を行った。本研究の目的は流星がどのくらい流れるか、地球大気のどのあたりで光るか、その流れる経路を3次元的に調べること、また、ビデオデータから流れる速度を求めることである。

私たちは国立天文台岡山天体物理観測所 (OAO) により2013年の極大期 (8/11, 8/12, 8/13) に撮影されたビデオデータを用い流星の検出を行った。3夜で500個以上検出し、出現数の統計 (HR , ZHR) を求めた。これを日本流星研究会の結果と比較したところ、全体的には似た傾向を示しているが、観測地特有のピークや減少を見つけた。また、放射点の位置を求めたが、この流星群は 5° 近い広がりがあった。

岡山理科大学 (OUS) で行っている流星の検出がウェブサイトで公表されている。OAOの観測と共通の流星も検出されていて、 33.5km 離れた2点観測としてOUSデータを利用した。12個の流星について、これらの2地点で流星の発光点、消滅点の方位角と高度角を求めることにより、流星の経路を求めた。また、ビデオフレームから流れた時間を測り、経路長÷時間により速度を求めた。

この結果として、これらの流星は平均として高度 106 km から 85 km まで、 36 km の経路を流れたことが分かった。そして、平均の地心速度は約 54 km/s 、日心速度は約 36 km/s であり、ペルセウス座流星群は太陽系内を楕円軌道で公転し、地球に高速で飛び込んでくることが明らかになった。

Abstract

There are a lot of mysteries about meteors. We studied the Perseid meteor shower. The purposes of this study are to count the number of meteors and to show how and where they shoot in the sky.

We used video data observed at Okayama Astrophysical Observatory (OAO) from August 11 to 13. We detected more than 500 meteors, and calculated their activity into the hourly rates (HR , ZHR). We compared our data with the Nippon Meteor Society's result, and found the activity maximum together with a local variation. The radiation-point of this meteor shower is spread at 5 degree on the celestial sphere.

We made a two-point observation in comparison with meteor images and data released on the web-site of Okayama University of Science (OUS). We found the celestial position and the time duration on video frames of 12 meteors, and obtained their altitude, shooting route, and the velocity of them in the sky.

It is shown on the average that the Perseids trail is about 36 km length at altitude from 106 km to 85 km . The mean shooting velocity of 54 km/s leads to the heliocentric velocity of about 36 km/s . Thus the Perseid meteor shower has an elliptical orbit in the solar system, and runs into the Earth's atmosphere at high speed.

キーワード 流星, ペルセウス座流星群, 国立天文台岡山天体物理観測所 (OAO), 岡山理科大学 (OUS), HR (出現数), ZHR (天頂出現数), 2点観測、スウィフト・タットル彗星

Keywords meteors, Perseid meteor shower, Okayama Astrophysical Observatory (OAO), Okayama University of Science (OUS), HR (hourly rate), ZHR (zenithal hourly rate), two-point observation, Swift-Tuttle's comet

研究目的

以前家族と流星を見に行っていたことがある。願い事を唱える間もなく、あっという間に消えてしまった。しかし、突然夜空に現れ、花火のように光の筋を描いて天空に消えていく流星の正体は何だろうかと思いに思い、いつか知りたいと思った。

流星は地球の大気に高速で飛び込んできた宇宙のチリが、地球大気に突入し発光する現象であると解説されているが、私たちは、実際の流星の観測データを解析して、流星の謎を明らかにしようと考えた。主な研究目的は、

1. 流星はどのくらいたくさん、また天球のどこから流れるか。
2. 流星は地球大気のどのあたりで光るか。(流星が出現する高度と経路、および速度)

である。流星の活動を詳細に調べると、流星物質の特徴や、地球の動きを解明する手がかりがつかめ、さらに私たちの属する太陽系の成り立ちについて新しい知見が得られると期待される。

そこで、三大流星群の一つ、真夏に極大を迎えるペルセウス座流星群を対象の天体として、研究することにした。この流星群に属する流星は、ペルセウス座 γ 星付近を放射点とし、そこから四方に流れる。私たちは実際のデータとして、国立天文台岡山天体物理観測所により撮影されたビデオを解析した。さらに、岡山理科大学で公開されている火球の情報を、2点観測のデータとして解析を行った。

研究1：流星の出現数と放射点

研究方法

研究1では流星はどのくらいたくさん流れるか、また流星群の放射点について研究することにした。ここでは国立天文台岡山天体物理観測所(OAO)により撮影された夜空の広視野ビデオデータを手に入れ、解析を行った。データは2013年の8/11から8/13の3夜連続で撮影されたもので、撮影した領域は図2の通り北極星周辺の領域で、全天の約1/3に相当する。



図1. 流星ビデオ観測システム
設置場所：国立天文台岡山天体物理観測所構内、91 cm望遠鏡ドーム北側。標高 372 m,
経度：東経 134 度 35 分 47 秒,
緯度：北緯 34 度 34 分 26 秒

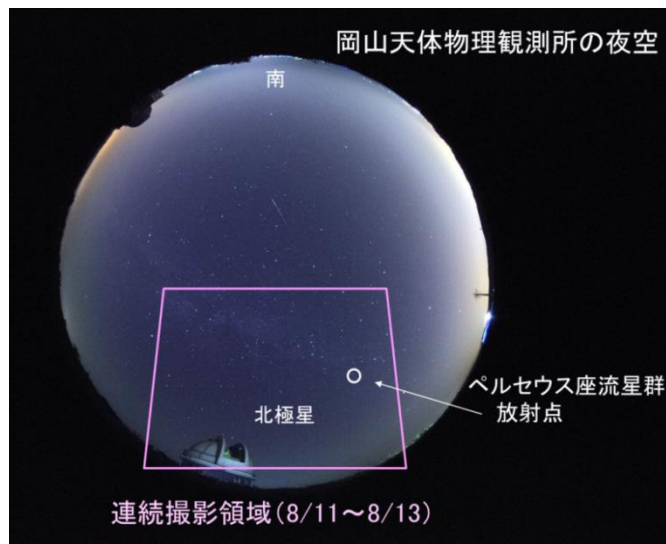


図2. 岡山天体物理観測所における観測領域(全天画像)

使用したカメラはワテック社製 CCD カメラシステム (640×480 ピクセル, 25 フレーム/秒) である。この期間3夜晴れが続き、延べ20時間観測が行われ、得られたデータは合計700MBに達した。

私たちが行った研究の手順は以下の通りである。

1. ビデオ映像を見て、流星を見つけ、どのくらい出現したかリストを作成する。

2. 検出した流星の統計を取り、 HR (hourly rate) を求め、表にまとめる。

ここで、 HR は (一人の観測者が見つけた) 1 時間あたりの流星出現数である。

3. それを補正して ZHR (zenithal hourly rate) を求める。

ここで、 ZHR は HR に対して限界等級、雲量と放射点の高度などを補正した量であり、天頂出現数と言われる。このようにして観測条件の違いを補正した ZHR は、多数の観測者・観測地における流星の出現数を比較するために用いることができる。

4. 求めた ZHR を他の観測結果と比較し、流星の出現数の時間変化を調べる。

5. 明るい流星の光跡を星図に描き込み、その直線を延長することで放射点を求める。

ファイル	1	2	3	計	時刻	8月11日	8月12日	8月13日
8月11日	25(sp:10)	76(sp:14)	13(sp:3)	114(sp:27)	22時	3	14	10
8月12日	101(sp:5)	145(sp:13)	30(sp:1)	276(sp:19)	23時	4	30	13
8月13日	48(sp:9)	77(sp:7)	13(sp:1)	138(sp:17)	0時	10	38	16
計	174(sp:24)	298(sp:34)	56(sp:5)	528(sp:63)	1時	27	46	18
					2時	20	31	25
					3時	23	56	25
					4時	16	64	23

表 1. 検出された流星の統計 (1 夜 3 ファイルで構成)

ビデオファイル毎の出現数を示す。なお、この内 sp は流星群に属さない散在流星の出現数。

表 2. HR の時間変化

結果

私たちは OAO ビデオから 500 個を超える流星を検出し、表 1 のようにまとめた。観測したビデオデータは 3 時間毎に一つのファイルを構成し、1 夜 3 ファイルからなる。また、この流星群に属していないものを散在流星 (sp) とした。求めた HR の時間変化を表 2 にまとめた。図 3 は、求めた ZHR を、国内の多数の観測を集約した日本流星研究会の結果 (参考資料から引用) と比較したものである。丸い点が私たちの結果である (小さな丸い点は

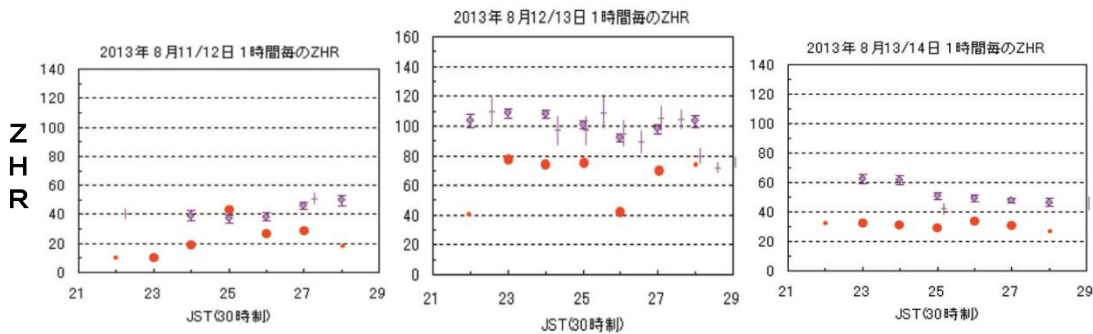


図 3. ZHR の日時による変化 (後半夜の時刻は、25 時～29 時と表示)

小さな丸い点は放射点高度が小さい、あるいは観測時間が短いため、補正の大きいデータ。

精度の低いデータ)。8/12 が最も出現数が大きく、8/13、8/11 ともに減少し、観測が極大期を捉えたことが分かった。全体的には極大期の ZHR は、ほぼ 80 から 100 程度であり、平年の出現数に近い。また、私たちは 8/11 の 25 時頃のピーク、8/12 の 26 時頃の減少、などこの観測値特有の出現数の変化を見つけた。

流星は天球面を流れるので、背景の星々を基準にしてどのように流れたかを知ることができる。特に明るい流星14個についてはビデオ映像から静止画を切り出し、その光跡の様子を調べ、流星群の放射点を求めた。図4は撮影した領域であり、この画像中にはベガ、デネブ、北極星や北斗七星も写っている。求めた放射点は天球上で5度近い広がりがあるが、放射点の概略の座標は、赤経03h30m、赤緯+55°27'と求められた。

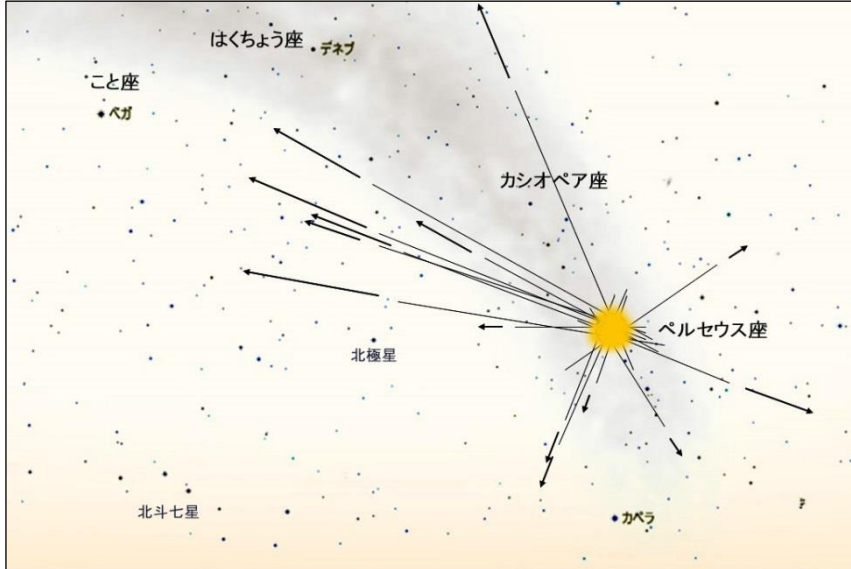


図4. 放射点の決定（観測領域をネガ表示）

考察

1. 流星の統計

今回検出した流星は合計528個だった。しかし流星の光跡などを見ると、そのうち63個はこの流星群の放射点から流れておらず、散在流星(sp)だと分かった。検出した流星の数は、極大時には1時間あたり60個に近く、観測期間の平均では1時間あたり約20個であった。

2. ZHRの変動

私たちのZHRの値が平均的に眼視観測より低い値を示しているのは、観測地(OAO)の空が基準より約2等級明るいことや、直接眼視で行わず撮影したビデオを再生して検出したことなどが影響していると思われる。また、ZHRの平均的な緩やかな変動に対して、やや急なピークや減少はこの観測地で検出された地域的な特徴であり、流星物質の空間的な分布にムラがあることを示していると思われる。

3. 放射点の決定

明るい14流星の光跡を追跡することで放射点を求めたが、天球は平面ではないため、また広角レンズによる光学系の歪みのために、単に直線を延ばすだけでは必ずしも正しい放射点を示すとは限らない。参考資料によれば、この流星群は歴史的に見て長い間活動が認められている。また、毎年活動期間が極大をはさんで1ヶ月近く続き、時間とともに放射点が少しずつ移動すると言われている。この流星群のチリはそれだけ長期間宇宙を運動していて、放射点にも広がりがあると思われる。「ガイドブック」によれば、極大期の放射点の座標は、赤経：47.1°(3h08m)、赤緯：+57.3°(+57°18')が与えられていて、私たちの結果とは角度にして約2.6°離れている。

研究 2 : 2 点観測

研究方法

研究 2 の目的は、3 次元的に流星をとらえることである。特に、

- ・流星の発光から消滅までの**高度の変化**
- ・流星の流れる**立体的な経路**
- ・地球への**突入速度**とその角度

を求めることだ。岡山理科大 (OUS) の伊代野研究室のウェブサイトには、全天カメラによる 2013 年の極大期における火球 (明るい流星) のリストが掲載されている。OUS では個々の天体の出現時刻と全天画像が表示されており、これらのデータを加えて、2 点観測とすることにした。

では、2 点観測とは何か。図 5 のように、2 点から 1 つの物体を見ると、背景に対して物体の位置が異なって見える。例えば、人間が両眼で物体を見て、その視差によって物体までの距離を知る、というように 2 点観測を行うと、物体までの距離を測ることができる。流星の場合は背景が天球であり、天球に張り付いた恒星に対して流星の位置の違いを調べる。右側の 2 枚の画像は、実際に使用した画像で、三つの赤丸はそれぞれ目印の恒星だが、OAO と OUS の夜空では流星の位置が違っていることが分かる。なお、OAO と OUS との間は 33.5km の距離があり、この 2 点観測によって 3 次元的な経路が求められるのである。

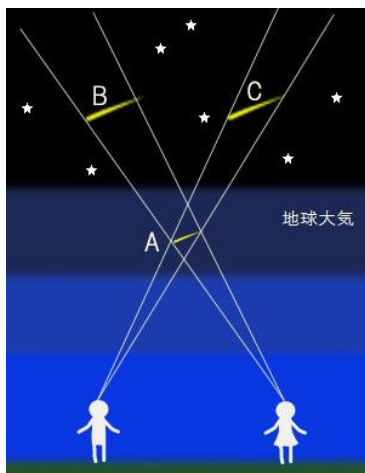
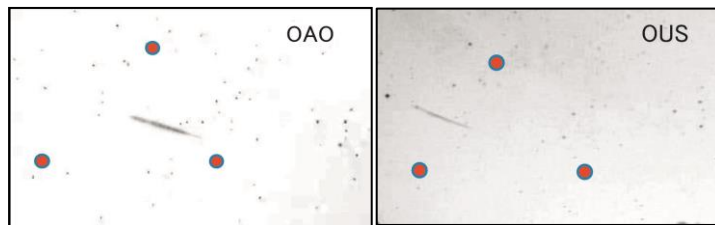


図 5. 2 点観測における流星の位置 (撮影画像と説明図)

右側の 2 枚は、2 か所で撮影された同一の流星のネガ。

●で示す 3 点は目印の恒星。左図はこのズレが生じる原理であり、流星 A は観測地により B や C の位置に見える。



具体的には次のような手順で研究を行った。

1. OAO と OUS の 2 点で共通の流星を見つける。その判定条件は、時刻が一致することである。その流星については、OAO ビデオから出現時のフレームを足し合わせて静止画を作る。
2. 流星の光跡、発光点、消滅点を OAO と OUS の画面で比較し、天球上での位置の違いを見る。それらが 2 点からの映像として問題ないことを判定して、流星を同定する。
3. OAO の画面に写っている恒星を目印にし、流星の発光点と消滅点の方位角と高度角を読み取る。用いたソフトはステラナビゲータ 9 である。他方、OUS データは、伊代野研究室により求められた解析結果 (方位角、高度角等) をご提供いただいた。
4. 2 点からの方位角の交点、高度角の交点で流星の流れた経路と高度を求める。(地図上で 2 点の観測地点から方位角方向に直線を引き、その交点が流星の発光点、消滅点の水平位置として求められる。高度角については 2 点からの水平距離を元に求める。これらの結果を比較して、精度の目安とした。)

5. OAO のビデオ映像は 25 フレーム/秒の動画であり、短い時間間隔で流星の動きが捉えられている。そこで、ビデオフレームを調べることで、その流星の運動を詳しく調べることが可能である。流星が移動している間のフレームを数えて流星が流れる時間を測り、経路長÷時間で速度を求める。

このようにして個々の流星の位置と速度などを求めていったが、研究 1 で選んだものの中には周囲に座標の基準となる恒星が少ないため位置の精度が悪く、方位と高度の一致が悪い流星もあった。そのため、最終的には 12 個の流星の解析結果を用いた。

結果

結果を表 3 (最終ページ) に示す。個々の流星の経路長は 17km から 66km まで分布し、平均として約 36 km の距離を流れたことが分かった。高度については、発光点は 116km から 96km, 消滅点は 89km から 72km, 平均として 106 km から 85 km まで流れたことが分かった。

求めた流星の空間的な経路を中国地方の地図に重ねて表示した。図 6 が地上に投影した水平成分、図 7 は東から真西方向を見た高度の断面を示した図である。図 6 から、流星は一様に北東から南西に流れているが、この観測期間は放射点が北東の空にあることを示している。



図 7. 流星の経路 (東西方向を見た高度の断面)

個々の流星の静止画を用いて、経路を示す。

図 7 から、流星の地平に対する角度にばらつきが見られるが、これは時間の経過と共に放射点が昇ってくることに対応している。流星の経路の高度角が、時間と共に大きくなっていく様子を図 8 に示す。また、流星のビデオ映像から作成した静止画を見ると、流星の光り方には個性があることが分かる。

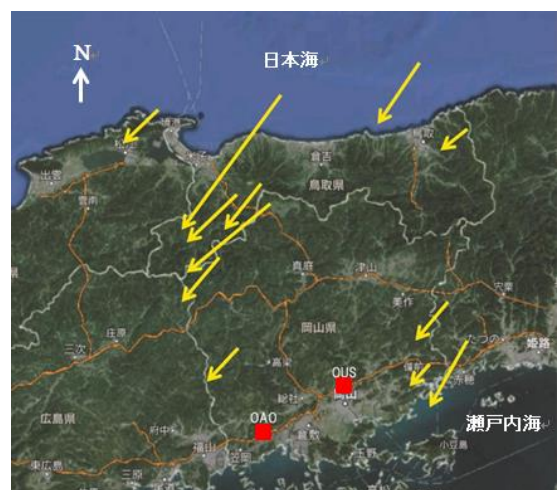


図 6. 流星の経路 (水平成分)

■は観測地点の OAO と OUS。

個々の流星の経路の水平成分を矢印で示す。

(地図は Google Map より)

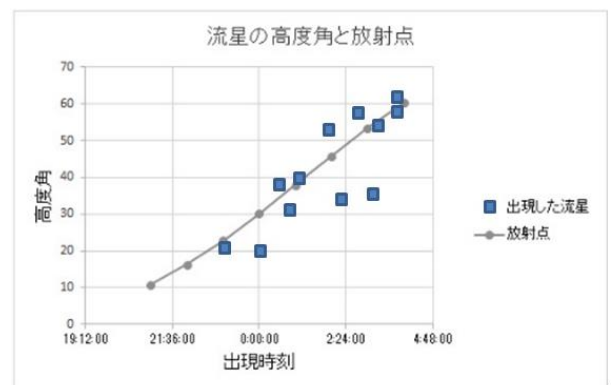


図 8. 流星の高度角と放射点の移動

横軸：出現時刻、縦軸：高度角

解析した 12 個の流星の平均の速度は約 54 km/秒と求められた。「ガイドブック」によると、この流星群の対地速度は十分に大きく天空の高いところで発光しているために、地球大気による減速や地球の重力による加速は無視できる。そこで、この速度は流星の地球中心に対する速度、すなわち地心速度がほぼ 54km/秒であると結論できる。この速度は人工衛星の 8 km/秒、地球脱出速度の 11.2 km/秒を大きく上回っているため、ペルセウス座流星群は地球外から高速で飛び込んできたと考えられる。

考察

1. 経路と速度の誤差

図 9 から分かるように、実際の流星の発光点と消滅点は恒星のように点像ではなく、光が連続的に変化して位置を決めるのが難しい。また、ビデオのフレームを調べると、光跡は必ず一定の速度で移動しているわけではない。特に、光跡の一部が塊のように明るくなり、その場所でしばらく輝く場合もある。このような理由により、求めた流星の経路と速度には誤差が生じると考えられる。そこで、個々の流星の結果（表 3：後出）にはかなりの誤差があるものも含まれていると思われる、私たちは流星の素性を平均値で見ることにした。

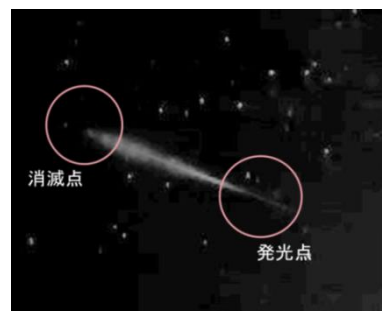


図 9. 流星の発光点と消滅点

2. 流星の速度

地心速度が 54km/秒であるので、流星物質のチリは地球外から高速で飛び込んできたと考えられる。チリは太陽などによって大きな力を受け容易に動きを変えるので、これが本来の軌道運動かどうかは必ずしも明らかではない。なお、参考資料によれば、この流星群の対地速度として 59km/秒が与えられており、私たちの結果は 10%程度の誤差があると考えられる。

3. もし流星が静止していたら？

もし流星のチリが太陽系内で静止しているとすると、ペルセウス座流星群の放射点は地球の公転方向と等しくなる（図 10）。しかし、ステラナビゲータ 9 を用いて調べると、放射点はこの流星群の極大時（8/12）には地球の公転方向が図 11 のように約 40°の角度離れている。よってチリは静止していない。流星のチリが動いていると考えると、図 12 のようになる。

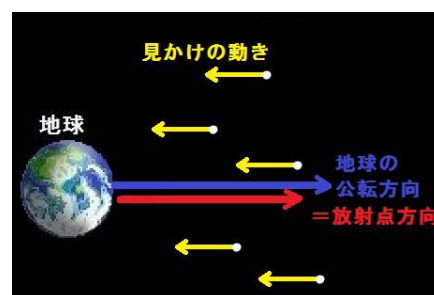


図 10. 流星のチリが太陽系内で静止している場合

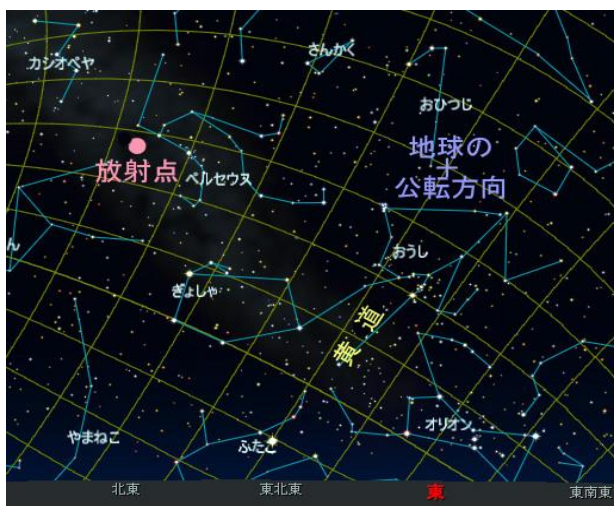


図 11. 放射点と地球の公転方向
両者は天球上で約 40° の角度をなす。



図 12. 放射点と地球の公転

ペルセウス座流星群の場合、チリは地球の公転面に対して約 72°の角度で突入する。また、約 36km/秒の速度で太陽系内を動いている。

4. ペルセウス座流星群の太陽系内における動き

図 12 では、青色の矢印が地球の公転方向、赤色の矢印が地球から見たペルセウス座流星群の放射点の方向である。実際のチリは緑色の矢印のように動いているが、地球から見ると黄色の矢印のように見える。今回この流星群の地心速度は 54km/秒と求められ、この間の角が 40°、地球の公転速度が 30km/秒だと分かっているため、三角形は 2 辺とその間の角で決まり、緑色の矢印は約 36km/秒と求められた。これは太陽系内の速度、すなわち日心速度である。また、この 2 辺の挟む角は流星の軌道と地球公転方向との角度、すなわち突入角度約 72°が求まる。

参考資料によれば、太陽系内の地球の位置で、30km/秒では円軌道、それより大きいと楕円軌道、42km/秒になると放物線軌道となり太陽系を飛び出す。また、黄道（天球上の太陽の通り道）は地球の公転面を示すが、おひつじ、おうし、ふたごの星座を通る（図 11 参照）。そこで、この流星群の放射点は公転面と大きな角度を持つことになる。よって、太陽系内における地球や惑星の公転面に対して、この流星群は大きな角度を持った楕円軌道を運動していることが分かった。

結論

1. 国立天文台岡山天体物理観測所構内で、ペルセウス座流星群の極大期である 8/11 から 8/13 にかけて、夜空をビデオ撮影したデータを用い、合計 528 個の流星を検出した。極大時には 1 時間あたり 60 個に近く、観測期間平均で 1 時間あたり約 20 個検出した。そして、そのデータから *HR*、*ZHR* を求め、日本流星研究会のまとめと比較した結果、短時間の出現数の変化から流星物質の空間的な分布にムラがあることが示された。
2. 明るい流星の光跡を星図に描き込み、その経路を延長して放射点を求めた。天球上で中心の座標を求めたが、直径約 5 度近い広がりがあった。この流星群は歴史的に長い間活動が認められ、また、毎年活動期間が長いこと、時間とともに放射点が移動することを考慮すると、この流星群のチリは長期間宇宙を運動していて、放射点も広がっていると思われる。
3. 2 点観測により 12 個の流星を解析し、発光点、消滅点の方位角と高度角から流星の経路と速度を求めた。流星の光跡が点像でないため位置の精度が高くないものの、平均として高度 106 km から 85 km まで、約 36 km の距離を流れたことが分かった。また、流星は空間的に放射点方向から流れていて、時間と共に地球大気への突入角度が変化して行くことが分かった。
4. 流星の地心速度約 54 km/秒、日心速度約 36 km/秒を求めることができた。また、流星軌道の地球公転方向に対する突入角度が約 72°という値もえられた。そして、流星の放射点が黄道から大きく離れていることから、ペルセウス座流星群は地球や惑星の公転面とは大きな角度をなして太陽系内を楕円運動していることが分かった。さらに、この流星群の振る舞いや素性を明らかにするために、私たちの研究の今後の展望についても考える。

今後の展望

ペルセウス座流星群の振る舞いを太陽系内での視点で見ると、極大時（8/12）には地球は黄経 140 度に太陽を見ながら、黄経 50 度の方向に向かって公転している。また、地球とニアミスをする流星の太陽系内の速度が約 36km/秒であり、その放射点は地球の公転方向から 72°の角度で公転面から大きく離れていることが分かった。しかし、今回私たちはシミュレーションソフトを用いて値を読み取り、距離や角度を物差しや分度器を用いて測ってきたた

めに、これらの作業の積み重ねで誤差が積もり、求めた結果は必ずしも精度が高くないと思われる。

ペルセウス座流星群の母天体はスイフト・タートル彗星であると言われている。惑星や彗星は太陽の重力に縛られて公転しているが、その運動を知るには6個の軌道要素を正確に求める必要がある。私たちはさらに天文学や物理学を習得し、国立天文台岡山天体物理観測所（OAO）および岡山理科大学（OUS）と連携し、専門の研究者に指導を仰ぎたい。そして、今回行った解析の精度を高め、この流星群の素性或太陽系内での運動について、より確かな結論を導きたい。

「天空の花火」である流星群は、私たちの好奇心を刺激し、その謎解きを楽しませてくれる。

表3. 2点観測の解析結果（12個の流星）

個々の流星の発光点と消滅点の座標を求め、方位角、高度角、および、距離と速度を求めた。

備考は精度の目安などであり、A, B, Cの順に2点から得られた高度の誤差が大きくなる。

流星 番号	出現日 出現時刻	ポイント 発光点 消滅点	OAO			OUS			高度1	水平距離	経路長	速度	備考
			方位角	高度角	距離	方位角	高度角	距離	高度2	垂直距離	角度	時間(秒)	
1	2013/8/12 1:06:33	発光点	172.7	50.9	83.8km	150.6	51.19	80.5km	101.6km	22.3km	29.0km	46.5km/s	C
		消滅点	158.5	48.8	73.0km	134	46.78	77.7km	83.1km	18.5km	39.7°	0.623s	
2	2013/8/12 3:17:03	発光点	247.7	53.9	84.8km	246.2	66.19	51.3km	116.3km	31.2km	54.0km	65.2km/s	C
		消滅点	262.2	50.9	60.5km	282.7	66.72	30.0km	72.2km	44.1km	54.7°	0.828s	画面端
3	2013/8/12 23:00:54	発光点	182.2	39.6	127.0km	167.6	43.14	115.4km	106.6km	61.9km	66.4km	53.5km/s	B
		消滅点	158.9	45.4	81.9km	135.5	43.56	86.1km	82.5km	24.1km	21.3°	1.241s	
4	2013/8/13 0:01:57	発光点	182	52	80.1km	158	54.39	74.0km	102.9km	42.8km	45.6km	62.9km/s	C
		消滅点	151.4	55.2	61.0km	122.8	50.14	72.1km	87.1km	15.8km	20.3°	0.725s	
5	2013/8/13 0:32:33	発光点	203.4	36.7	144.2km	193.3	42	121.9km	108.7km	27.6km	34.9km	64.3km/s	A
		消滅点	199.9	36.3	117.9km	186.3	42.3	96.8km	87.4km	21.3km	37.7°	0.543s	
6	2013/8/13 0:48:45	発光点	164.6	57.6	64.2km	135.5	56.41	67.0km	101.0km	21.4km	25.1km	35.9km/s	B
		消滅点	146.1	57.8	56.3km	117.9	50.82	70.3km	87.9km	13.1km	31.5°	0.700s	
7	2013/8/13 1:53:27	発光点	250.8	57.3	66.0km	257.7	72.67	33.5km	105km	12km	20km	40.0km/s	C
		消滅点	257.2	58.6	55.3km	274.4	74.86	24.2km	89km	16km	53.0°	0.500ss	
8	2013/8/13 2:45:21	発光点	215	38.9	130.7km	205	44.5	103.3km	103.5km	9.3km	17.6km	28.9km/s	A
		消滅点	213.5	35.1	121.4km	202.5	44.2	94.5km	88.6km	14.9km	58.0°	0.610s	
9	2013/8/13 3:45:00	発光点	161	42.5	121.9km	144.4	41.3	122.8km	109.8km	13.0km	25.0km	71.0km/s	C
		消滅点	154.3	36.6	115.4km	139.6	37	121.0km	88.5km	21.3km	58.6°	0.352s	
10	2013/8/13 3:50:03	発光点	236.1	53.8	82.5km	228.5	66.95	49.8km	114.8km	35.5km	40.3km	100.5km/s	C
		消滅点	241	51.9	63.7km	233.8	68.37	30.7km	79.3km	19.1km	61.7°	0.401s	
11	2013/8/14 2:16:17	発光点	154.3	73.8	29.3km	106.2	64.4	44.4km	96.8km	15.5km	18.8km	40.2km/s	C
		消滅点	123.6	71.6	28.8km	93.2	57.1	55.4km	86.1km	10.7km	34.6°	0.468s	
12	2013/8/14 3:06:42	発光点	179.6	50.3	87km	156.6	53.28	80km	106km	26km	32km	36.4km/s	B
		消滅点	170.1	48.3	71km	141.8	48.88	71km	80km	19km	36.0°	0.878s	爆発

参考文献・参考URL

- ・国立天文台岡山天体物理観測所：<http://www.oao.nao.ac.jp/>
- ・岡山理科大学 伊代野研究室 HP：<http://www.das.ous.ac.jp/iyono/blogn/>
- ・2013年ペルセウス座流星群の眼視観測（日本流星研究会ウェブサイト）
<http://homepage2.nifty.com/s-uchiyama/meteor/shwr-act/08peract/per-act.html>
- ・理科年表、国立天文台編、丸善株式会社。
- ・「流星観測ガイドブック」、日本流星研究会編、1978年、誠文堂新光社。
- ・天文シミュレーションソフト「ステラナビゲータ」Vol.9、アストロアーツ社。

謝辞

観測データを提供していただき、解析について指導して下さった以下の方々に感謝いたします。

岡山天体物理観測所研究員，戸田博之さん（流星観測用ビデオ撮影）

岡山理科大学教授，伊代野淳さん（ウェブサイト整備，2点観測データ提供）