

流星が酸素を光らせる？

～高感度撮影による流星痕の写真観測～

大島 理樹，上野 利晃（高2）【佐賀県立佐賀西高等学校 サイエンス部】

1.はじめに

流星痕とは、流星通過後に残る煙のようなものであり、大気内成分や流星物質由来の発光である。流星痕は、発光継続時間の長さによって分類され、継続時間が1秒未満から数秒のものを短痕、数秒から（長いもので）1時間以上に及ぶものを永続痕と呼ぶ。

これまで、短痕は、初期速度が大きく明るい流星で観測されやすいと考えられてきた。しかし、その詳細な観測は、ほとんど行われていない。そこで、短痕のうち、特徴的な発色である緑色のものを、酸素原子の禁制線発光と仮定し、その出現条件の数値化を目標に、流星体の初期の運動エネルギーとの関係性を検証した。酸素原子の禁制線発光(557.73 nm¹⁾)は、短痕の代表的な成分であり、最近の高感度デジタルカメラを用いれば検出は容易である。ちなみに、オーロラの緑色も酸素原子の禁制線発光である。

2.研究目的

本研究は、＜酸素原子の禁制線発光の有無、または出現率は、流星体の初期の運動エネルギーのみで決定される。＞という仮説を、写真観測により検証するものである。なお、撮影した短痕のうち、緑色に見えるもの全てを、酸素原子の禁制線発光（以下、酸素禁制線発光）とした。緑色に見える短痕の大部分は酸素禁制線発光と考えられるが、その他の成分が発光している可能性を否定するものではない。

3.研究方法

(図1)は、撮影に使用した機材である。レンズは、ある程度の画角と有効口径（大きいほど、暗い流星・流星痕が写りやすい）の確保を考えて選定した。

カメラ：キヤノン EOS Kiss X7 (APS-C)

レンズ：シグマ 24mm / F1.8

(画角：夏の大三角がちょうど収まる程度)

(図1) 撮影機材

(図2)は、撮影時の設定である。これらの設定で、流星群の活動期間中に連続撮影を行い、目視により流星が写っている写真を検出した。

F値：F 2.5 (周辺像改善のため開放から1段絞った)

ISO感度：6400～25600 (空の明るさに合わせて)

露出時間：1秒

(図2) 撮影時の設定

撮影時の設定のポイントは、露出時間である。1秒と短時間の露出であるが、これは、継続時間の短い短痕を、流星本体と分離して撮影するためである(図3)。

露出時間が長い場合、流星本体と短痕を分離することができず、本体の光度や短痕の有無・色などの必要なデータを得ることができなくなる。

流星体の初期の運動エネルギーの算出に必要な、流星体の初期質量の算出には、最大光度、流星体の初期速度、その初期質量、および天頂角の間の一般的に使われる下記の関係式を用いた²⁾。



(図3) 流星本体と短痕の分離 (露出時間1秒×4コマ)

$$\log m = \frac{4.84 - 8.25 \log v - M - 1.5 \log(\cos Z)}{2.25}$$

(m [kg]: 流星体の初期質量, v [km/s]: 流星体の初期速度, M : 最大光度 (実視等級), Z : 天頂角, \log : 常用対数)

初期速度は流星群ごとに平均値が分かっているため、写真観測から最大光度と天頂角を決定すると、初期質量を求めることができる。

4. 観測結果

これまでに、2014年のペルセウス群・オリオン群を観測した。(表1)は、観測の詳細である。群流星数は、撮影流星数に占める各流星群の撮影流星数。括弧内は、酸素禁制線発光が確認された流星数である。

観測対象	撮影期間	撮影枚数	総露出時間	撮影流星数	群流星数
ペルセウス群	7.23~8.18	35604枚	約10時間	50(8)	27(7)
オリオン群	10.19~25	21543枚	約6時間	37(7)	11(5)

観測地：佐賀県佐賀市

(表1) ペルセウス群・オリオン群 (2014) の写真観測

撮影した全流星の写真等級 (0.1等単位)、天頂角を記録し、それぞれの初期質量と初期の運動エネルギーを算出した。なお、初期速度は、ペルセウス群は 59.38 km/s、オリオン群は 66.53 km/s を用いた^{3),4)}。

2014年のペルセウス群・オリオン群の観測結果から、流星体の初期の運動エネルギーが 9.2×10^1 J 以上であれば、酸素禁制線発光が起こることが分かった。しかし、初期の運動エネルギーが 9.2×10^1 J 以上であっても、酸素禁制線発光が起こらなかった流星も多数あった。

5. 議論と考察

流星体の初期の運動エネルギーがある一定値以上であれば、必ず酸素禁制線発光が起こるという訳ではないことから、酸素禁制線発光の「有無」は、流星体の初期の運動エネルギーのみでは決定されている訳ではないと考えられる。一方、「出現率」との関係性の有無について検討するため、仮説を見直した。

流星体の初期の運動エネルギーが大きいほど酸素禁制線発光が起こりやすいと考え仮説を立てたが、初期質量算出式と運動エネルギー算出式から初期質量 m を消去すると、「最大光度が等しいとき、初期速度が大きいほど流星体の初期の運動エネルギーは小さい」ということが分かった。したがって、「最大光度が等しいとき、初期速度が大きい流星ほど酸素禁制線発光が観測されやすい」のであれば、流星体の初期の運動エネルギーが大きいほど酸素禁制線発光が起こりやすいというのは誤りで、流星体の初期の運動エネルギーは酸素禁制線発光の「出現率」にも関係していないことになる。その場合、仮説も誤りとなる。

今後は、運動エネルギーのみでの議論ではなく、「流星体が大気に与える単位時間当たりのエネルギー (仕事率)」について議論する必要がある。

6. 参考文献

- 1) 赤祖父俊一(2002)『オーロラ その謎と魅力』岩波書店。
- 2) Martin Beech(2009)『天体観測の教科書 流星観測編』誠文堂新光社。
- 3) 日本流星研究会(2014)『天文回報(No.865)』。
- 4) 日本流星研究会(2014)『天文回報(No.867)』。

7. 謝辞

本研究を進めるにあたり、「日本流星研究会・チーム流星痕」の皆様には、機材選定や撮影方法など、様々なアドバイスを頂きました。この場を借りて、感謝申し上げます。