

11 眼視・高感度ビデオカメラ・電波観測による 2005年ペルセウス座流星群の特徴

1 ペルセウス流星群とは

毎年8月13日前後にペルセウス座を中心に出現する流星群である。今年の観測のピークは8月13日午前2時が予想されていた。

2 研究の動機

この流星群を選んだ動機は次の3つである。

- (1) 長期の観測可能な夏休みを利用できる
- (2) 月齢7, 4歳で月明かりの影響が少ない
- (3) 突発出現の可能性を示す論文が有る

3 目的

研究の目的は次の2つである。

- (1) 流星出現個数の極大期の推定
- (2) 速度や明るさの変化のパターンの解析

4 方法の概要

流星出現個数と極大の推定は時間や天候に左右されない電波観測を用いた。また、流星の明るさ、速さの変化の観測では高感度ビデオカメラを用いた。そして、実際の観測で天候や明るさの状態、天球の中に占める流星の長さや特徴について知る為に眼視観測を行った。最後に3種類の観測方法を比較し、総合した。

5 眼視観測による出現個数の時間変化

目的：出現個数の最大である極大の時刻の測定

日時：2005年8月12日21時～8月13日4時

場所：磐田南高校屋上(北緯34° 43,072

東経137° 51,3)

方法：3人1組で2人が観測、1人が記録を行った。10分ごとに雲量、最微等級、方角と個数、ペルセウス流星群か、散在流星かを記録した。

結果・考察：8月12日21時台に1個、22時から8月13日1時までは曇天のため観測不可能、2時台に雲が少なくなり晴れてきたのでペルセウス流星群が3個、散在流星が、1個、3時台に1

個と合計5個のペルセウス流星群の流星が見られた。

1時間に50個は見られるという予想を大幅に下り、正確なデータが得られなかった。しかし、曇天のため見られなかった流星も多いことを考慮すると、2時台に3個の大きな流星が観測されたことは、2時台が極大という流星電波観測国際プロジェクトの予想と一致した。

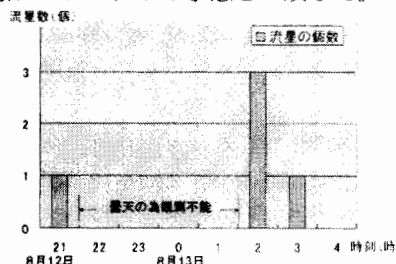


図1 眼視観測の流星の観測数の時間変化

6 高感度ビデオカメラによる撮影

- 目的：(1) 極大の時刻がいつになるかを調べる
(2) 流星の速度と明るさの変化を調べる

日時：2005年8月12日21時～8月13日4時

場所：磐田南高校屋上(北緯34° 43,072

東経137° 51,3)

観測機材：6mmF0.8広角レンズ付WAT100-N

方法：

- (1) 赤道儀に高感度ビデオカメラを装備し、ペルセウス座の方角に向け自動追尾させる
- (2) 録画した約7時間(20時53分28秒～4時10分27秒)のビデオの映像を1通り見る
- (3) 全ての流星の時、分、秒を記録、ビデオのコマ数(1コマ=1/30秒)を数え時間を調べる

7 流星群と散在流星の班別及び輻射点の推定

目的：流星群に属さず突発的に流れる『散在流星』は1日に約40～50 t も降り注ぐと言われる。よってペルセウス流星群の流星と散在流星

を区別し、流星群の輻射点を推定する。

方法：星図に描き込んだ流星の軌跡を延長する。

輻射点とは：平行な線路が遠くで1点に収束して見えるように、流星群の流星は大気に対して平行に突入する際に、ある1点から放射されている様に見える。この点を輻射点(放射点)と言う。

結果：図2のとおり、星図上で延長すると大半の流星の延長方向はペルセウス座 η (エータ)星付近に集中した。しかし、右下を通過した流星は輻射点の不一致から明らかに流星群の流星でなく、散在流星とわかる。このように星図に記入して散在流星とペルセウス座流星群の班別を行った。

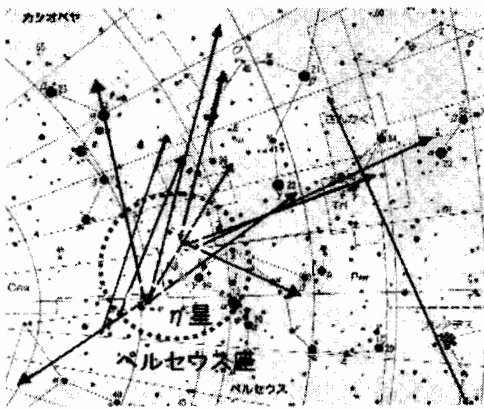


図2 輻射点を推定した星図(円の範囲)

9 高感度ビデオカメラ観測での明るさの変化

目的：ビデオの画像をスロー再生して、丁寧に見ると大半の流星は明るさが変化していることに気付いた。原因は大気との摩擦量や流星の重さ、組成の違いで生じると考えた。そこで明るさの変化を調べる。また、その結果を利用し、上層大気や流星の構造の理解への手がかりにする。

仮説：流星の明るさの変化は、流星の大きさが均一ではなく、大気からの摩擦量が変化するため、次の3パターンに分類されると予想した。

- ① 最初に急激に明るくなる流星
- ② だんだんと明るくなる流星
- ③ 最後に急激に明るくなる流星

仮説設定の根拠：

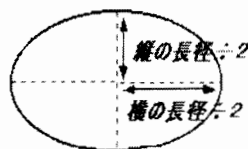
①は質量と大きさが小さな流星で、大気から受ける摩擦量が微量で受ける熱量が少ないため、すぐに燃え尽きると考えた。よって、最初に急激に燃え尽き、その時に大きな発光をするとした。

②は質量と大きさが中程度の流星で、大気から受ける摩擦量が小さな流星と大きな流星の間であるため、その変化も中間の変化だと考えた。よって、平均して明るさはだんだんと明るくなるとした。

③は質量・大きさが大きな流星で、大きな重力より大気との摩擦量は大きい、本体自体は巨大で燃え尽きにくく、流れている時間の中の最後の方で燃え尽きる。よって、最初はだんだんと増光し初め、最後に急激に明るくなるとした。

方法：

- (1) ペルセウス座流星群内の流星の縦と横の長さを画面上の静止画で計測する。
- (2) 縦と横の長さから楕円の面積の公式(図4)を用いて面積を求め、明るさとする。
- (3) コマ数 $\div 10 = 1$ 段階として全ての流星を10段階に変換し、各段階の明るさの変化を調べる。



$$\text{面積} S = 1/4 \times \text{縦の長径} \times \text{横の長径}$$

図4 楕円の面積の公式

8 高感度ビデオカメラでの出現個数の時間変化

散在流星を含めた全ての流星が22個、ペルセウス座流星群のみが14個と視視観測の2.3倍の観測ができた。判別を行い、流星群のみ流星の個数の結果を示したものが図3である。図3より、23時までは個数が上昇し、その後徐々に減少が見られ、極大の時刻は8月12日23時であることも分かる。これは予想されていた極大時刻とは異なる結果であった。

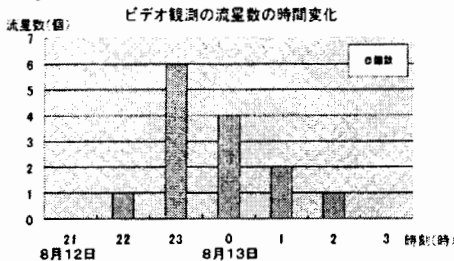
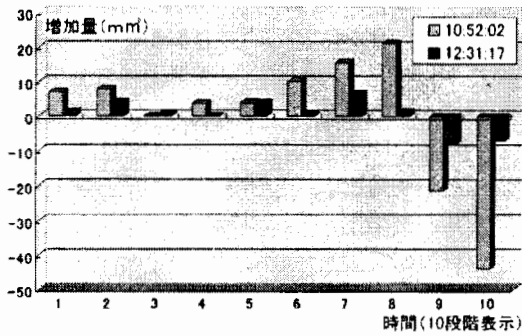
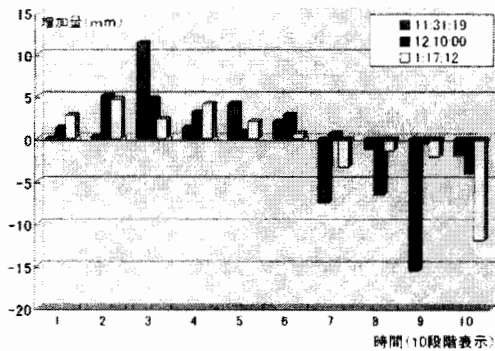


図3 高感度ビデオ観測での出現個数の時間変化

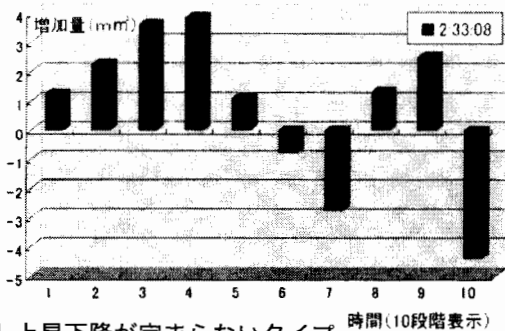
a. 前半上昇し、急激に減少するタイプ



b. 前半上昇し、後半下降するタイプ



c. 上昇下降を繰り返すタイプ



d. 上昇下降が定まらないタイプ

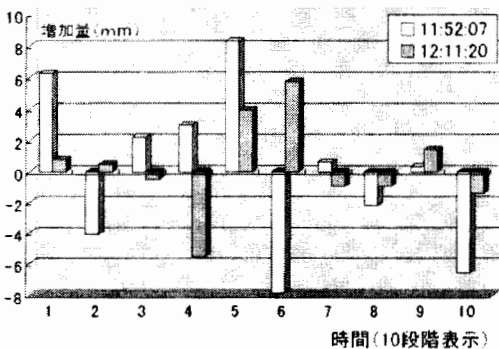


図5-a~d 明るさの変化の4つ型

結果・考察：明るさの変化は予想と違い4タイプに分類された。また発光時間(コマの数)の長短から

- (1) 発光時間が長い場合は上昇型
- (2) 発光時間が短い場合は不定形型

の傾向が見られ上昇型の中には

- (1) だんだん上昇するもの
- (2) 前半上昇、後半下降するもの

不定形型の中には

- ・ 増加、減少、増加、減少を繰り返すもの
- ・ 変化が全く定まらないもの

があった。母天体の彗星が全て同じなので、組成は極端に変わらないと考えると、質量が大きいと体積も増加し、受ける摩擦力も増大すると考えられる。発光時間(コマ数)や明るさの変化についての研究・考察を重ねれば、流星物質の体積や質量が明確になると考えられる。

10 高感度ビデオカメラ観測での速さの変化

目的：ビデオをスロー再生して見ると、明るさと同様に、速さも一定ではないように見えた。そこで速さの変化を調べ、またその結果から地球大気の組成、流星物質の特定への手がかりとする

仮説：流星の速さは変速するのではないか

仮説設定の根拠：大気は地表に近いほど濃く、流星は宇宙空間から次第に地球の大気が濃くなる。中間圏や成層圏を落下するため、時間とともに摩擦力が増加し、減速すると考えたからである。

方法：

- (1) 映像を1コマずつ進め、画面に貼ったセロハンテープに流星の移動距離を記入し間隔を測定する。
- (2) 速さと同様に時間を10段階に分けたグラフを作り、近似線を作り傾向を見る。

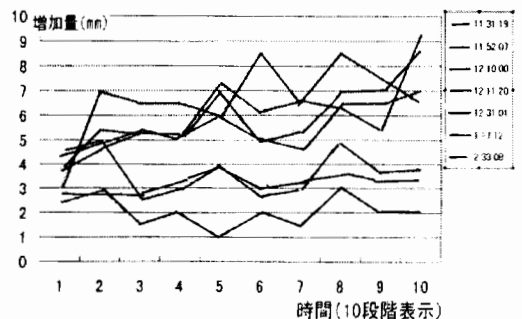


図6-a 流星の速さの時間変化

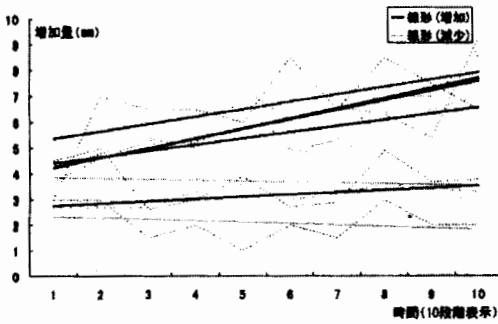


図6-b 図6-aに近似線を引いたグラフ

結果・考察：近似線の大半が右上がりになることより流星の速さは増加傾向に有る。よって仮説は否定された。

私たちの解析結果は流星の見かけ速さは次第に増加していることを示している。しかし図7のとおり、天球に投影された流星が実際は等速であっても、観測者から見ると、輻射点に近い場合は単位時間の移動距離が少ないので遅く、遠いと移動距離が大きく見えるので速い。したがって流星の見かけの速さは時間とともに増加しているという私たちの解析結果は、実際の速さはほぼ等速であることを示していることになる。

等速になる理由について次のように考えた。大気中を等速で落下するものとして、雨滴の運動が知られている。雨滴は重力により落下を始めるが、途中で空気抵抗が重力と釣り合うために加速度が0になり、最後は等速運動になる。流星も雨滴と同じように、大気の濃さの変化はあったとしても、空気抵抗と重力が釣り合い等速運動をしたものと考えられる。減速するという例外もあったが、これは質量が小さく空気抵抗と釣り合えなかったためと思われる。よって仮説設定で述べた大気による摩擦は、流星を減速させるほどには大きな影響を与えていないと思われる。

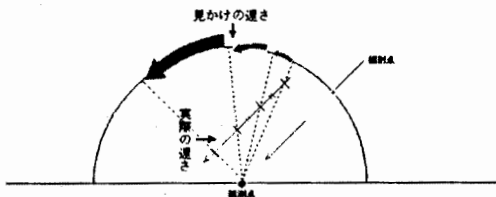


図7 流星の見かけ速さと実際の速さの関係

11 流星の速さの絶対値の推定

次に流星の絶対的な速さを求めた。一般にペセウス流星が発光し始める高度は120km、消滅する高度が90kmと言われる。仮に大気圏に45°で突入したと仮定した場合、三平方の定理を適用し移動距離を求めると $30\sqrt{2}$ kmとなる。今回観測した流星のコマ数の平均は14.8コマ、すなわち1コマが1/30秒なので、流星の流れた時間は $14.8 \times 1/30$ 秒 = 約0.5秒である。これで流星が進む距離である $30\sqrt{2}$ kmを割ると速さになる。

落下高度 $\times \sqrt{2}$ (角度) \div (平均コマ数 $\times 1/30$) = 速さ $(120\text{km} - 90\text{km}) \times \sqrt{2} \div \{14.8 \text{コマ} \times (1/30 \text{秒})\} = 85.7\text{km/秒}$

算出されたこの速さは一般的な流星の速さよりもやや大きい値である。よって、突入角度が小さい、または発光開始高度が高い、消滅高度が低いことが予想される。

12 電波観測

原理：地球の大気と衝突した流星は、一時的に周辺の大気を電子とイオンに分け、電離という状態をつくる。この電離で、流星の流れた周辺は瞬間的に自由電子の濃度が濃くなる。電子濃度の高くなった領域を電離柱と呼ぶ。普段なら電波観測で使用する50MHzの電波領域は、通常宇宙空間へ突き抜けるが、この電離柱によって反射する。これより普段は受信できない遠方の送信局(福井工業高等専門学校)の超短波信号が反射させられ受信可能になる。これが電波観測の原理である(図8参照)。

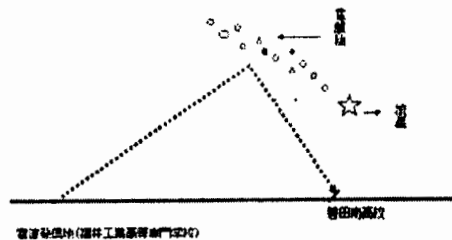


図8 電波観測の原理

- 目的：(1) 昼間や雨天でも観測可能なので、正確な極大や個数の長期間の変化を求める
(2) 他の2つの結果と比較し極大の一致を比較する

期間：2005年7月22日～8月20日

使用機材：

- ・ソフトウェア「HROFFT(高速フーリエ変換)」
- ・50MHzの2素子八木アンテナ
- ・HRO専用受信機
- ・ノートパソコン

エコー図の見方：エコーとは超音波の反射のことである。エコー(図9)は10分で1枚作成され横軸は時間、縦軸は周波数を示す。周波数約0.85KHz付近の小さな縦の線が1つ1つの流星のエコーである。中央の20秒以上続く長いエコーはロングエコーと呼ばれ、大きな流星が出現した可能性を表している。尚、飛行機や太陽活動でノイズが入り判別できないことも有る。

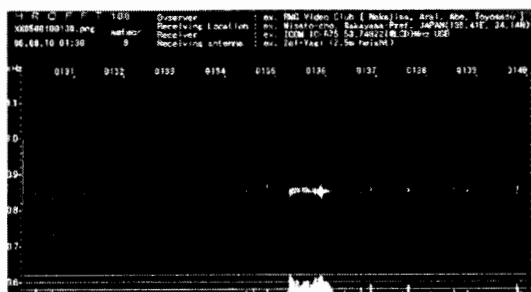


図9 エコー図

結果：約4000枚のエコー図から合計7226個の流星、142個のロングエコーを拾った。図10がその結果を表したグラフである。図10より極大は8月10日1時で、予想されていた8月13日2時と大幅に異なった。これは電波状態が悪く、流星エコーが検出出来なかったことが最大の要因である。しかし、ロングエコーの極大は12日の9時~10時で、総エコー数の極大と異なるが予想されていた極大に近いので、ロングエコーが流星群の極大を表していると考えられる。これは、大規模で普通の流星より質量が大きく、長時間電離柱を発生させエコーも大きいため、ノイズが起こっても判別可能ためと考えられる。

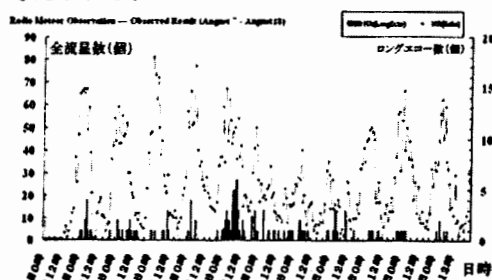


図10 電波観測の個数変化(極大前後5日間)

尚1日周期で増減を繰り返すのは、流星群の輻射点の高度が天体の日周運動により約24時間周期で変化する為である。

13 3つの観測の結果の比較とまとめ

ペルセウス座流星の個数は、眼視観測で5個、高感度ビデオカメラで14個、電波観測期間全体で7226個、電波観測を眼視、高感度ビデオカメラ観測と同じ時刻で比較すると241個だった。極大は眼視観測では求めることが出来なかったが、高感度ビデオカメラ観測で12日23時、電波観測で10日1時だった。

流星の特徴については流星の明るさの変化は時刻によって類似しているものがあり、10段階で比較すると4つのパターンに分類された。流星の速さは見かけ上加速、実際は等速運動をしていることが分かった。

表1 3つの観測の比較

| 方法 | 流星数(個) | 極大(日時) |
|-------------|-----------|--------|
| 眼視観測 | 5 | 不明 |
| 高感度ビデオカメラ観測 | 14 | 12日23時 |
| 電波観測 | 7226(241) | 10日1時 |

14 今後の課題

- (1) 観測方法の違いで、1日の中での極大の時刻が異なる理由について調べる。
- (2) 流星の観測数を増やし、流星の重さと空気抵抗について調べ明るさの変化を正確に分類する。
- (3) 流星の観測数を増やし、流星の速度が等速になる理由についてより正確に調べる。
- (4) 明るさと速度の関係について周辺分野の研究も含めより考察する。
- (5) ロングエコー数と総エコー数の極大の関係について考察する。

15 参考文献

- ・RMG編集委員会(2005):流星電波観測ガイドブック、CQ出版株式会社
- ・藤井旭(2005):The September Sky 2005, 天文ガイド、2005年9月号、P14
- ・Newton, 株式会社ニュートンプレス
- ・http://www.amro-net.jp/hrol_j.htm