

# 明星大学天文台における電波流星観測

津田 裕也<sup>1</sup> 小野寺 幸子<sup>2</sup>

## Observation of radio meteors in MUO

Yuya TSUDA<sup>1</sup>, Sachiko ONODERA<sup>2</sup>

Meteors create a plasma in the upper atmosphere, and this plasma reflects radio waves from a ground station. By detecting the reflected radio waves, you can see the appearance of a meteor. We installed Yagi Antenna and made radio meteor observations possible at Meisei University Observatory.

キーワード：流星，電波観測

Keywords : meteors, radio observation

### 1. はじめに

この研究論文は、2016 年度に明星大学 30 号館天文台に設置した電波による流星観測装置について、設営からフェーストライトまでをまとめたものである。

### 2. 流星について

本研究の観測対象である流星について解説する。一般に流れ星とよばれている現象と流星とは同じものであり、彗星などとは違い天体そのものを指すものではなく、発光現象を指すものである。

#### 2.1 流星と流星体

流星は上層大気で起こる発光現象であるが、その発光は塵が地球大気に突入した際に摩擦熱によって燃える事によるものと、大気成分が電離することにより発生するプラズマの発光とがある。流れ星として観測される多くの流星は後者のプラズマの発光を見ていると考えられている。この流星現象の素になる、塵は流星体と呼ばれ、発光現象そのものと、それを引き起こす物体とで区別される。流星体の正体は太陽系の公転軌道を周る彗星がこぼした塵や、宇宙空間に浮遊する砂粒や人工衛星などの欠片である。その大きさは直径  $10^{-5}\text{m}$  から  $10^{-2}\text{m}$  で、地球大気への突入速度は  $10\text{km/s}$  から  $70\text{km/s}$  と様々な大きさや速度を持っている。大きく速い流星体は明るい流星となり、小さく遅い流星は暗い流星となる。

#### 2.2 流星の流れる場所

流星は上層大気  $70\text{km}$  から  $120\text{km}$  で起こる現象で、この高

度の大気は宇宙と地球の境目とも呼ばれ、その前後で大気密度が  $10^{-8}\text{kg/m}^3$  から  $10^{-4}\text{kg/m}^3$  と大きく変わる。そのため大気圏外から突入してきたこの高度で流星体は燃えつきる。

#### 2.3 流星群

ペルセウス座流星群やしし座流星群など天体ショーとして度々スポットを浴びる現象である。太陽系の公転軌道を周る彗星がこぼした塵が起源であり、この塵の帯と地球とが交差するときに、大量の流星を観測することができる。肉眼で観測できる数は 1 時間当たり 100 個を超えることもある。流星群に含まれる流星は群流星と呼ばれる。

#### 2.4 散在流星

流星群以外にも流星は一定数流れている、これは軌道上から外れた彗星の塵など宇宙空間に浮遊している砂粒や人工衛星のかけらによるものである。肉眼で観測できる数は 1 時間当たり数個程度である。

### 3. 電波流星について

2 章で解説した流星は肉眼でも観測できる可視光領域の発光の流星である、これとは別に八木アンテナと受信機などを用いて電波領域の波長で信号として観測する流星を電波流星と呼ぶ。可視光領域で観測することのできる流星については眼視流星と呼び区別する。

電波流星の素となる流星体は眼視流星と同じである。電波流星は電波領域の波長を観測するので、天候に左右されることが少なく、また昼間でも観測できるという利点がある。

1 明星大学大学院理工学研究科 物理学専攻 博士後期課程 電波天文学

2 明星大学理工学部 総合理工学科 准教授 電波天文学

## 4. 流星から電波を受け取る仕組み

電波領域の波長で流星を観測する方法について述べる。

### 4-1 流星から電波を受ける方法

電波流星と呼ばれているが、流星自身が電波を出しているわけではない。流星を電波で観測するためには、流星が発光する際の電離現象によるプラズマの発生を利用して間接的に観測する。地球大気に出現したプラズマは通常その大気において透過する周波数の電波を反射させる。そのため、流星によってできるプラズマが反射する周波数の電波を発信すれば、反射波の有無で流星の出現を知ることができる。これは 30MHz 以下の低周波を電離層で反射させて超距離通信を行うのと同じ原理である。

### 4-2 観測する電波について

本研究では福井高専より発信されている 53.750MHz の電波を使用する。この周波数帯の電波は短波、または超短波に分類されラジオ放送やアマチュア無線通信に使用され、通常 100km 程度の見通し領域内、つまり発信元から直接受信することを想定された通信で使われる。

### 4-3 プラズマによる反射

発信元の福井高専は明星大学の見通し領域にはなく、当然直接その信号を受信することはない、しかし流星によって高度 100km 程度にプラズマが発生すると、一度上層大気に上がった電波が反射させられて地上に戻ってくる。その際の受信可能領域は発信元から 1000km 程度まで伸びると考えられる。プラズマは長さ数 km、直径数 m で激しい熱運動や衝突によって原子から電子が剥がれイオン化した状態である。プラズマ発生による電波反射の過程は、プラズマ振動数によって決まる。プラズマ振動数  $\omega$  は、

$$\omega = \sqrt{\frac{n_0 e^2}{\epsilon_0 m}}$$

で与えられる。 $n_0(\text{m}^{-3})$ は電子密度、 $e(\text{C})$ は素電荷、 $\epsilon_0(\text{Fm}^{-1})$ は真空の誘電率、 $m(\text{kg})$ は電子質量である。このプラズマ振動数より高いか低いかで電波が反射するか決まる。つまり、電子密度  $n_0$  が、

$$n_0 \geq \frac{\epsilon_0 \omega^2 m}{e^2}$$

となる時に反射する。 $\epsilon_0$ を  $8.854 \times 10^{-12}$ ,  $e$ を  $1.602 \times 10^{-19}$ ,  $m$ を  $9.109 \times 10^{-31}$ として、今回使用する周波数  $5.375 \times 10^7 \text{Hz}$ を  $\omega$ に代入すると、反射条件を満たすような電子密度  $n_0$ は  $8 \times 10^{11}$ となる。高度 70km から 120km で発生したプラズマでは、この電子密度条件は十分満たされると考えられる。

## 4. 観測装置について

使用した観測装置について解説する。装置はアンテナ、受信機、パソコンと解析に利用したソフトウェアからなる。

### 4-1 受信アンテナの作成

受信用のアンテナには短波交信用に販売されている八木アンテナを改造して、流星観測に適した周波数を受信できるようにする。

ベースになっているアンテナは、

comet 社製 CA-52HB

仕様規格

周波数: 50~52MHz

利得: 6.3dBi

半値角: 約 68°

である。とくにこのモデルでないと受信できないわけではなく、同様の周波数帯が観測できるアンテナであればどんなものでも観測可能である、ただし観測したい周波数にあわせて加工する必要があるため、このモデルのような簡易な 2エレ八木アンテナが適している。2エレはエレメントが 2 本であることを指す。

今回の研究でも、このモデルを図 1 のように切断した。切断する長さは、受信したい周波数が 53.750MHz なので、その波長  $\lambda(\text{m})$ は、

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

から 5.5818m となる。 $c(\text{m})$ は光速、 $f(\text{Hz})$ は周波数である。八木アンテナの各エレメントの長さは、

リフレクタ: 0.495  $\lambda$

ラジエータ: 0.473  $\lambda$

であるので、導波器を 2640mm、反射器を 2760mm とした。

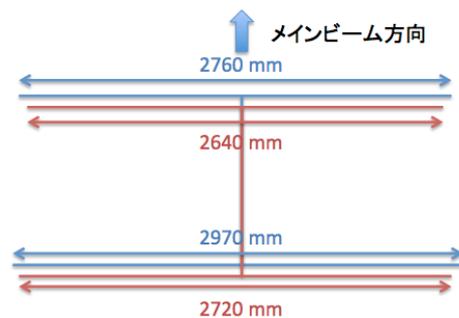


図 1 加工前(青)と加工後(赤)のエレメント長

また作成した八木アンテナの指向性と感度をシミュレーションソフト MPCQ で計算した。計算結果から得られたビームパターンが図 2 である。水平方向、垂直方向ともに半値角 67.7° で、指向性の高いアンテナであることがわかる。

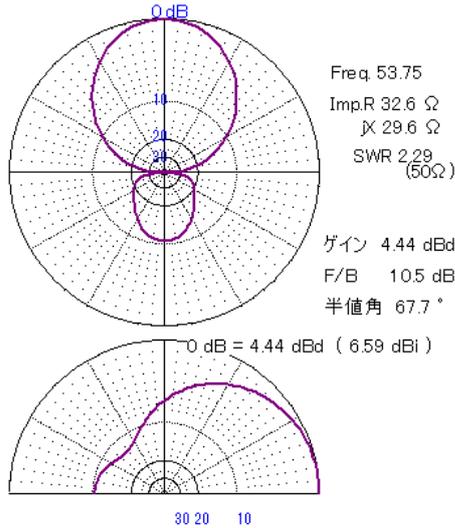


図 2 作成したアンテナのビームパターン

#### 4-2 受信機

受信機には、

アイテック電子研究所製 HRO-RX1a

を使用した。この受信機は 2016 年 11 月現在販売されておらず、入手は困難であるが、アマチュア無線用の受信機を 53.750MHz に設定すれば観測用受信機として使うことができる。RX1a(図 3)は、ヘテロダイン式のラジオと同じ原理で 53.750MHz に乗せられた音声信号を取り出すことのできる受信機である。



図 3 受信機: RX1a

#### 4-3 パソコンとソフトウェア

受信したシグナルは音声信号として変換されるので、受信機をスピーカーかパソコンに接続して、シグナルを観測する。本研究ではモニター用の信号をノートパソコンのライン入力端子から拾い、フリーソフト MROFFT を使ってデータを記録した。このソフトは 10 分ごとに時刻、周波数、電波強度の情報を 1 枚の画像ファイルにして記録するものである。

#### 4-4 アンテナの設置

アンテナは明星大学天文台のある、明星大学日野校 30 号館屋上に設置した。表 1 が設置したサイトの詳細である。

図 4 は設置した 30 号館とアンテナである。パソコンと受信機は屋上から 1 フロア下の観測準備室に設置した、受信機とアンテナは 5D-2V ケーブル 30m で接続した。

明星大学日野校 30 号館屋上	
経度	139° 24' 38"
緯度	35° 38' 43"
標高	147m
設置した屋上高さ	20m

表 1 設置サイト詳細



図 4 明星大学 30 号館  
天体ドーム横の屋上スペースに設置したアンテナ

### 5. 観測手順について

流星からの電波を観測する手順を解説する。

#### 5-1 アンテナの向き決定

受信したい電波が発信されている福井高専の方向と、アンテナの指向性、それに流星が流れる位置を考慮して、アンテナ向きを決定する必要がある。

明星大学から見て福井高専はほぼ東に位置するので、水平方向の向きは東に向けた状態から調整をすることにした。垂直方向の二点間の距離が 300km あることから、前方からの反射波の方が受信しやすいと考え、地面と水平に設置し

た状態から調整をすることにした。図 6 が指向方向を福井高専方向水平に設置したアンテナである。



図 6 発信元の福井高専の東が指向方向になるように水平に設置したアンテナ

### 5.2 受信機の感度調整

受信機の電源を入れ、接続したパソコンで MROFFT を起動すると、図 7 のウィンドウが表示される。横軸が時間 (min), 縦軸が周波数 (kHz), 色強度が電波の強度を示している。また指定した範囲で積分した電波強度 (dB) が横軸に 1 目盛り当たり 10dB で表示されている。流星が出現すると 900kHz から 1100kHz で 10dB 以上の反応を示す。図 8 はノイズが多く観測できていない状態である。図 9 は受信機のアッテネーターを効かせすぎて信号が見えていない状態である。図 7 程度の全体的に青い背景になるように調整を行うと良い。ノイズが入り続ける場合はアンテナの向きを調整する必要がある。

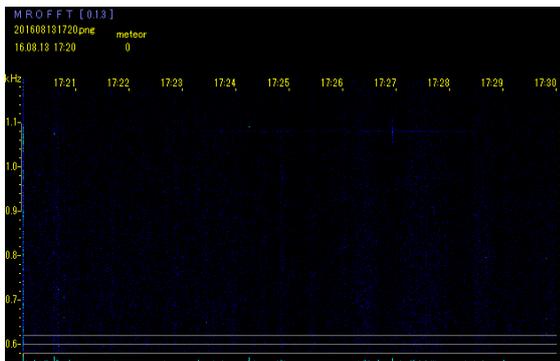


図 7 MROFFT

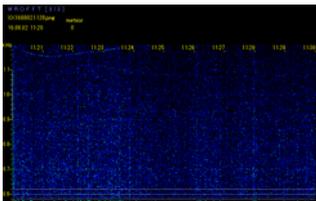


図 8 アッテネーターが強い

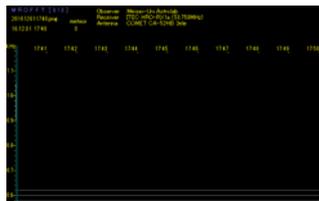


図 9 ゲインが低い

## 6. 観測結果

装置を設置した、2016年8月から2016年11月に行った観測の一部を紹介する。

### 5.1 電波流星による信号

図 10 は流星による反射を観測できた時の信号である、このような信号を受けているときにパソコンのスピーカーを ON にしていると、高い音が聞こえる、この音が福井高専から発信されている音声信号である。

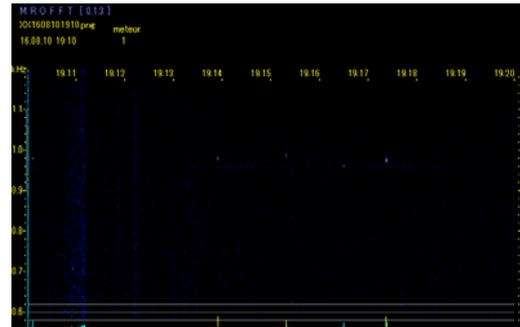


図 10 流星を観測した時の信号

### 5.2 火球による信号

図 11 は火球、つまり大きな流星と思われる流星による反射を観測した時の信号である。長いものだと数分信号を反射し続ける。

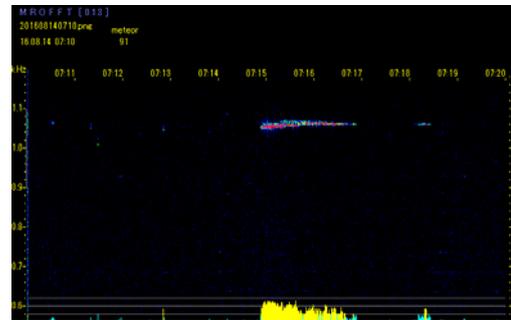


図 11 火球を観測した時の信号

### 5.3 航空機による信号

図 12 は航空機による反射を観測していると思われる信号である。

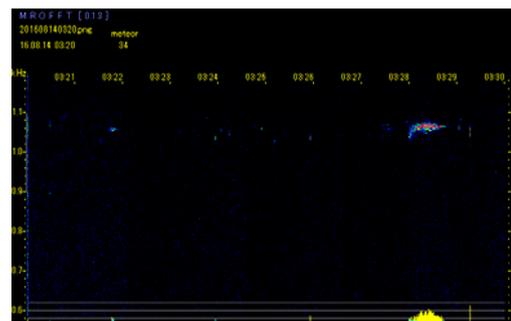


図 12 航空機による反射の信号

### 5.4 スポラディック E 層による信号

図 13 は太陽活動によってスポラディック E 層が発生している時の信号である。スポラディック E 層が発生すると高度 100km 前後の大気の電離が進み電波の反射が常に見られるようになって、流星の信号は埋もれてしまう。

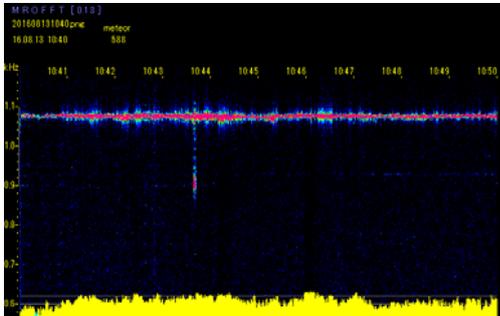


図 13 スポラディック E 層が発生中の信号

### 5.5 外部からのノイズによる信号

断続的に強く幅の広い周波数のノイズが入っている、このような信号は外部からの、無線などの短波通信との混線だと考えられる(図 14)。

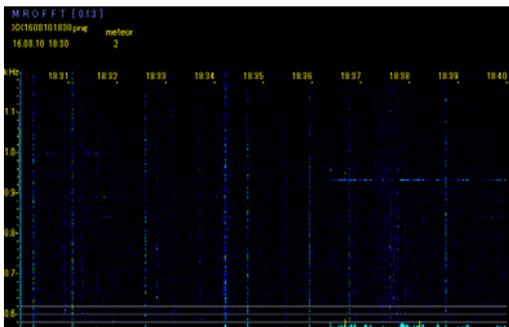


図 14 外部信号による帯状のノイズ

### 5.6 装置内部からのノイズによる信号

周波数が時間変化するノイズが入っている、このような信号はパソコンのバックグラウンドでソフトウェアが動いているために入るものだと考えられる(図 15)。

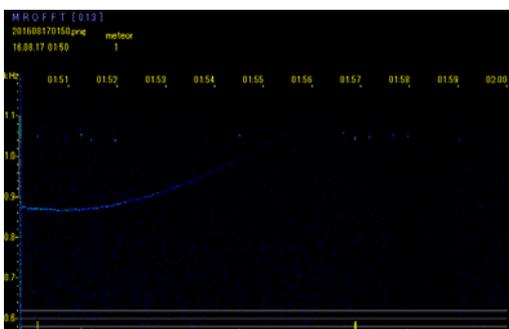


図 15 装置の内部信号による紐状のノイズ

## 6. 考察

観測することができた流星と火球について、また航空機とスポラディック E 層についてその信号の強度変化、周波数の幅と継続時間に注目して考察する。

### 6.1 流星

観測結果の図 10, 図 11 に見られるように、今研究により、明星大学天文台において流星電波観測が可能になった。流星群の期間で一日に 150 個から 300 個程度、それ以外の期間では一日に 100 個前後の流星を観測できた。

### 6.2 火球と航空機

一見して見間違いそうな、火球と航空機の信号の違いについて考察する。航空機の航空高度は 10km 程度で機体の全長は 50m だとすると、観測視野に航空機が入ると 100km では 500m の物体が現れたのと同じ状態になる。この大きさは流星が作るプラズマと似ている、そのため電波観測で得られたデータでも似たような形に見える。しかし、流星が作るプラズマと違い、航空機は時速 700km/s 以上で飛んでいるため、突然現れるプラズマとは信号の強度の違いがある。図 11 の火球よる信号は、急激に強い信号が入り、その後弱くなっている。これは発生したプラズマが徐々に消えていくためである。航空機の場合は、図 12 の信号のように、信号強度のピークが中間辺りにある、これは航空機が移動しているため、だんだんと反射条件の良い状態になり、その後また遠ざかっていくためである。またドップラーシフトによる周波数の変化も見られる。

### 6.4 スポラディック E 層

図 16 のようなスポラディック E 層は一度発生すると、長い時には 1 時間以上発生し続ける。昼間に発生することからも太陽活動によるものだとことが理解できる。このスポラディック E 層に着目して、今回の装置で太陽活動を観測して研究することもできる。

## 7. 今後

この電波流星の観測は装置トラブルがない限りモニター観測ができるので今後、流星の出現について統計的なデータが取得できる。それを用いて、地上にどの程度の流星が日頃降り注いでいるか、電波強度の強さと出現頻度の関係などに注目して研究していきたい。

## 参考文献

- (1) Martin Beech : 「Meteoroids and Meteorites」, 誠文堂新光社 (2009)
- (2) 津田敏隆 : 「流星レーダーによる熱圏下部の大気運動の解明」, 日本気象学会 (1996)
- (3) 流星電波観測国際プロジェクト, [http://www.amro-net.jp/hro\\_index.htm](http://www.amro-net.jp/hro_index.htm)