K-85

電波流星観測システムの構築

Development of radio meteor observing system

野中康輝[1]，塩谷望[1]，森田晃平[2]，阿部新助[3]
Kouki Nonaka[1], Nozomi Shioya[1], Kouhei Morita[2], Shinsuke Abe[3]

Abstract:
Radio wavelength enables us to achieve continuous meteor observations without regarding of weather or daylight. We will establish our first radio meteor observing system at Funabashi campus of CST Nihon University by using a two elements crossed Yagi antenna to receive the continuous wave (CW) at 53.75 MHz frequency. With this new system, very unique scientific observations of meteor phenomena will be described in this paper.

１．研究背景および研究目的

流星とは，直径が数 10 ㎛～数㎜程度のメテオロイドと呼ばれる惑星間塵が，秒速数 10km で地球大気圏に超高速突入する際に発生する発光現象である．メテオロイドが地球大気に高速で突入する際に，輻射加熱と空力加熱により溶融・昇華して励起された塵を構成する原子と，同様に励起された地球大気起源の原子・分子が，励起状態から基底状態に戻る過程で光を放出する．一般には発光高度は，約 80～120km である[1].

光学観測では天候や日中の太陽光の影響により流星を観測できないことがあるが，VHF 帯の電波観測では天候や昼夜に左右されずに観測が可能となる．本研究では，前方散乱と後方散乱の２種類の電波観測手法を用いた取り組みを行う．

流星の電波観測には，電波の後方散乱を用いたヘッド・エコー(head-echo)観測，前方散乱を用いたトレイル・エコー(trail-echo)観測がある．前者は大出力，大口径のレーダー出力の大学間共同利用設備が必要である．そのため，共同利用に採択されても，年に 20～30 時間程度しか使用することが出来ない．それに対して後者は，小型八木アンテナを用いた安価で比較的簡易な設備を応用し，アマチュア無線を用いて観測することが可能である．そのため，本研究では主にトレイル・エコー観測を用いる．トレイル・エコーは，オーバーデンス・エコー，アンダーデンス・エコーに分けることが出来る．

流星の飛跡には流星飛跡プラズマ(電離柱)が生じる．この電離柱には電波を反射させる性質があり，電離柱の線電子密度の大きさにより散乱機構が変化する．線電子密度とは，電離柱の単位長さあたりに自由電子がどの程度存在するかを示したものである．線電子密度が 10^{14}[個/m]以上，以下の場合で，反射する電波をそれぞれオーバーデンス・エコー(overdense echo)，アンダーデンス・エコー(underdense echo)と呼ぶ．オーバーデンス・エコーは電波が電離柱から全反射するようなエコーで，散乱強度は強く，エコー継続時間は長い．明るい流星になるほどエコーは長時間継続し，長時間継続するほど超高層大気風による電離柱の変形により電波受信可能域が拡大する．アンダーデンスエコーは一つ一つからの電子の散乱により電波を反射するため全反射はおこらず，エコー継続時間は短い．散乱は強い方向依存性をもち，斜めから電波が入射した場合には，入射角と反射角が等しくなる方向に強く反射する．[2]
本研究では，生じた電離柱に送信点から電波を発信し，反射した電波(アンダーデンス･エコー)を受信することで流星を観測する．

本研究では周波数 50MHz 帯の電波を用いる．この電波は，よほど大きな入射角で入射しない限り，通常電離層で反射されずに宇宙空間へ突き抜けてしまう．しかし，流星が流れると一時的に電離層よりはるかに電子密度の高い飛跡ができ，これによって電波が反射される．これを利用することで流星を観測することができる[3].

電波を受信する地点が 1 つ，つまり単地点観測の場合，流星の個数，エコーの長さの情報を得ることができる．流星の軌道 6 要素を決定するには，未知数は 6 つであるので，電波を受信する基準点を除き 6 地点，つまり 7 地点で協定観測することで流星の方向ベクトルと速度，つまり軌道の情報を得ることができる．

これまでの研究では，トレイル電波観測により得られる電波エコー強度と流星の可視等級の関係が分かっていない．そのため，本研究では，流星電波観測から得られるトレイル・エコーのエコー強度と，可視光での流星の明るさ(天頂方向，高度 100km 換算の絶対等級)の関係を明らかにし，(1) 等級分布関数（等級毎の流星数）を導出して，地球大気に突入するメテオロイ

ドのサイズ分布について考察する, (2) 流星群による違いから, 電波(周波数 50MHz 帯)と光学(波長 400-800nm)の異なる電磁波領域での地球大気突入速度依存性を調べる，（3）多地点電波観測で得られる流星軌道と，多点光学観測で導出される軌道と比較することにより，昼夜天候を問わない電波観測の有用性を示すこと目的にしている．

２．観測手法，解析

ハム無線を用いた 53.75MHz 連続波の送信局は．長野県の大町，池田，安曇野の 3 か所．電波の受信点は東大本郷キャンパス，東大柏キャンパス，東海大学，防衛大学，和光，海老名，秦野，日本大学理工学部船橋キャンパスの 8 か所．受信アンテナには 2 素子八木アンテナを用いる．3 号館屋上に設置するアンテナを Figure1 に示す．

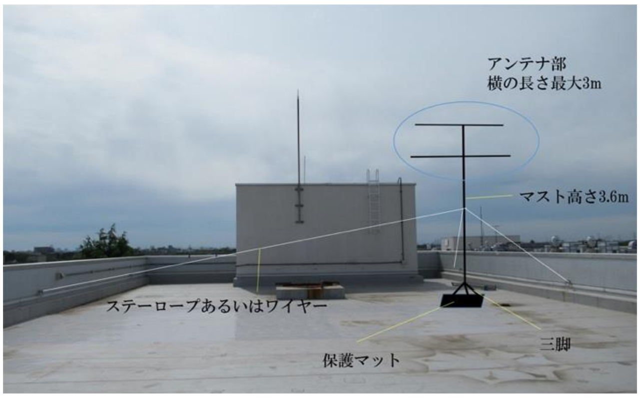

Figure 1. Receving Yagi antenna

流星エコー信号は，超短波受信機を介して GPS の 1PPS 信号と共に A/D 変換されて PC の HDD に記録される. 同時に, 流星電波観測専用ソフトウェア HROFFT でフーリエ変換された画像が 10 分毎に HDD に記録される．HROFFT で記録された流星エコー信号のフーリエ変換画像を Figure2 に示す．[4]

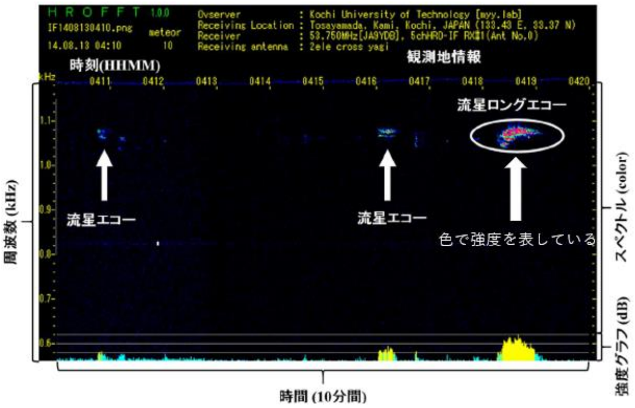

Figure 2. Meteor echoes analyzed by HROFFT

得られた画像を解析することにより，流星の個数，エコーの継続時間と強度を調べることができる．また，GPS で同期された多地点で得られたエコーの相互相関解析を行い，流星飛跡の空間ベクトルが求められる．解析例を Figure3 に示す．

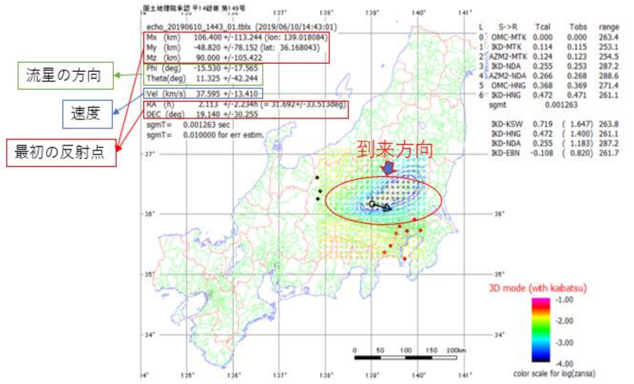

Figure 3. Meteor trajectory derived by HRO network

電波観測から得られた流星の発生時刻と軌道から光学観測の同時流星を同定し，光学観測で得られる可視等級との比較と考察を行っていく．

３．今後の展望

Figure1 のアンテナを，日本大学理工学部船橋キャンパス 3 号館屋上に設置して，データ記録システムを構築し，Table1 に示す主要流星群観測から目的(1)(2)に取り組む．また，多地点協定観測と夜間の光学同時観測から，目的(3)に取り組んでいく計画である．

Table 1. Major meteor showers and their active periods[5]

流星群名	流星出現期間
りゅう座流星群	10 月 6 日－10 月 10 日
オリオン座流星群	10 月 2 日－11 月 7 日
ふたご座流星群	12 月 4 日－12 月 17 日
しぶんぎ座流星群	12 月 28 日－1 月 12 日

参考文献

[1] 岡村定矩 :「天文学辞典」，日本評論社，p438~439，2012

[2] 石村周平 :「茨城大学での流星電波観測の初期観測結果」，卒業研究，2019

[3] 中村卓司，RMG 編集員会 :「流星電波観測ガイドブック」，CQ 出版社，p22，2002.

[4] 水本聡 :「5 チャンネル電波干渉計を用いた多地点観測システムの構築と流星群の観測」，卒業研究，2013

[5] Jurgen Rendtel ，「2019 Meteor Shower Calendar」，International Meteor Organization，2018

1 : 日大理工・学部・航宇　2 : 日大理工・博士(前期)・航宇　3 : 日大理工・教員・航宇