

流星の観測IV

初等教育教員養成課程 理科選修
金光研究室 240421 津田 寛樹

1.序論

「流星」には、特定の時期に出現する「流星群」と、日常的に出現する「散在流星」があり、毎年決まった時期になると多くの人が流星群を一目見ようと夜空を見上げる。特に、お盆の時期に現れるペルセウス座流星群や、12月の中頃に現れるふたご座流星群、年明け直後のしぶんぎ座流星群などは大変有名であり、流星の活動が盛んな時にはニュースや新聞を賑わせる。しかし、流星はその明るさから目視では基本的に夜にしか確認することができず、また夜でも天気恵まれないとその天文現象を見ることができない。このように、一般的に知られている流星の観測には、時間や気象条件などの制約が多くついてまわる。

ところが、この時間や気象条件に左右されない流星観測が存在する。それが、電波による観測である。電波観測とは、地上のある1点から宇宙に向けて発信された電波が、流星が出現することによって反射されたものを受信し、観測を行うものである。流星の電波観測に関しては、観測用の機材が比較的安価で揃えやすいことや、簡単に操作できる観測用ソフトウェアの開発・改良によって誰でも観測できる環境が整っているため、アマチュアの観測家も多い。

今回は、流星の電波観測に関して福岡教育大学で研究されてきた「流星の観測(田上, 2002)」「流星の観測Ⅱ(岡本, 2003)」「流星の観測Ⅲ(老岐, 2012)」の研究内容を踏まえ、HRO(Ham Radio Observation)を用いて流星の電波観測による研究を行った。その研究目的は、次の2点である。

- ①通年で電波観測を行った場合にどのようなデータが得られるのか、年ごとに比較するとどのような変化が見られるのかを検証する。
 - ②わが大学で行っている電波観測の観測環境は、他のそれと比較して精度がどの程度であるのかを検証する。
- これらの内容を追究することで、今後の流星電波観測の研究の発展に寄与することができれば、と願う次第である。

2.流星とHRO

そもそも流星とは、地球外から飛来する流星物質が地球大気に突入した際に、高度100km付近で大気分子と激しく衝突して発光する現象のことである。流星物質は、太陽系を漂う惑星間物質(惑星間塵)が大部分であるが、研究によって、太陽系外のものも含まれることが明らかになっている。流星が発光する時には、大気分子や流星物質構成原子・分子が正イオンと自由電子に分かれる電離現象が双方で発生する。このようにしてできた電子とイオンの混合気体であるプラズマは、流星の流れた軌道上に長いチューブのように存在し、これを流星飛跡という。この流星飛跡の中の自由電子が電波を散乱する働きがあるために、送信された電波が散乱され受信点で信号として受信される。

流星飛跡による散乱は、その散乱機構によってオーバーデンスエコー(overdense echo)、アンダーデンスエコー(underdense echo)と呼ばれる。前者は飛跡中の体積電子密度が高く、電波が飛跡で全反射するようなエコー、後者は飛跡中の体積電子密度が低く、1つ1つからの自由電子からの散乱で電波が反射されるエコーである。アンダーデンスエコーであっても、飛跡に対し直行方向から来た電波は干渉によって強く散乱されるが、このような散乱は0.1~1.0秒程度で急速に弱くなる。一方オーバーデンスエコーは、流星の明るさにもよるが火球クラスのものであれば数分にわたり散乱電波が継続する。オーバーデンスエコーも、最終的にはアンダーデンスエコーに変化し消滅する。

一般に線電子密度と流星の光度は、次のような関係があるとされている。

$$M_r = 36 - 2.5 \log \frac{q}{v} \quad -①$$

但し、 M_r :流星光度、 q :線電子密度、 v :流星の突入速度

一方オーバーデンスエコーになるかアンダーデンスエコーになるかの境界は、線電子密度 q が $10^{14}m^{-1}$ より大きいかわりか決まる。また、線電子密度と流星の質量、流星の突入速度の間には、次のような関係にあることが、1973年 Verniani のレーダー観測の結果から明らかとなっている。

$$q = 1.57 \times 10^{13} m^{0.92} v^{3.91} \cos x \quad -②$$

但し、 q :線電子密度、 m :流星の質量、 v :流星の突入速度、 x :放射点の天頂角

このように、電波を反射するかどうかを決定する要因は電子密度であるが、ある地上高における電子密度は、電離の平衡状態によって決定される。地上高によって大気の組成やその密度、紫外線の強さなどが異なり、特

定の地上高において電子密度が高い平衡状態を保つ部分ができる。これが電離層である。地球には D 層, E 層, F 層の 3 つの電離層が形成される。ただし D 層は地上 50~80km の高さに昼間だけ発生する。また、電離層では電波は反射されるだけでなく、屈折や減衰も見られる。HRO で用いられている 53.75[MHz] の電波は、VHF と呼ばれる超短波に属するが、超長波に属するような波長の長い電波は減衰が顕著であり、遠距離の電離層反射伝搬は困難となる。

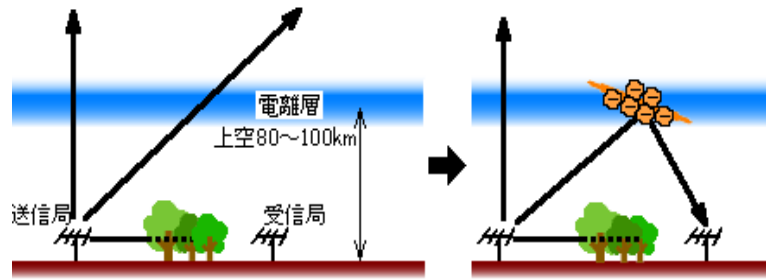


図 1 HRO の原理

電離層における反射や伝搬は、電離層に対し垂直に電波が入射する時、電子密度の最大値を $N_{max}[m^{-3}]$ とすると、

$$f_c \approx 9.0\sqrt{N_{max}} \quad -③$$

で与えられる周波数 f_c [Hz] より低い周波数の電波は反射し、高い周波数の電波は貫通する。この時の f_c を臨界周波数 (critical frequency) という。また、入射角 i で入射した電波は、

$$f = f_c \cdot \sec(i) = f_c \frac{1}{\cos(i)} \quad -④$$

で計算される f より低い周波数のものが反射される。これを正割法則 (セカントの法則) という。③式と④式を合わせると、

$$f = 9.0\sqrt{N_{max}} \cdot \frac{1}{\cos(i)} \quad -⑤$$

であるから、電子密度が一定である時、入射角が大きいほど高い周波数の電波が反射される。また、送信される電波の周波数が一定の時、 $f < f_c$ であればどのような角度でも反射され、 $f > f_c$ であれば垂直に入射すると貫通し、一定の角度を持って入射すると反射される。HRO で用いられる 53.75[MHz] の電波は、⑤式と電離層の電子密度から考えるとよほど大きな入射角を持たない限りは電離層を貫通する。しかし、流星の出現によって一時的に電子密度が高くなった際にのみ反射され、地上で受信が可能になる。これが、HRO の原理 (図 1) である。

3.方法

本研究では、自然科学教棟屋上に設置した 2.0m モービルホイップアンテナと受信機 ITEC RX-1a を用い、福井県鯖江市から送信されている無線局 JA9YDB のビーコン電波 (周波数 53.75[MHz]) の反射波を受信した。これで受信したものを記録用 PC GATEWAY G6-450 にマイク入力し、観測用ソフトウェア HROFFT でデータ処理を行った。HROFFT は観測結果を 10 分毎に 1 枚の PNG 形式の画像を出力するので、その画像をもとに、950[Hz] から 1100[Hz] のエコーを流星エコーとしてカウントを行った。

観測期間は 2013 年 1 月 1 日 0:00 から 2015 年 12 月 31 日 23:59 (但し機材トラブルにより、2014 年 12 月 7 日 1:50 から同年同月 31 日 23:59 までと、2015 年 11 月 1 日 0:00 から同年 12 月 17 日 15:00 までは欠測) とした。

4.結果

①年ごとの比較

以下の図 2 から図 4 は、本研究で得ることのできた、2013 年から 2015 年のデータをまとめたものである。

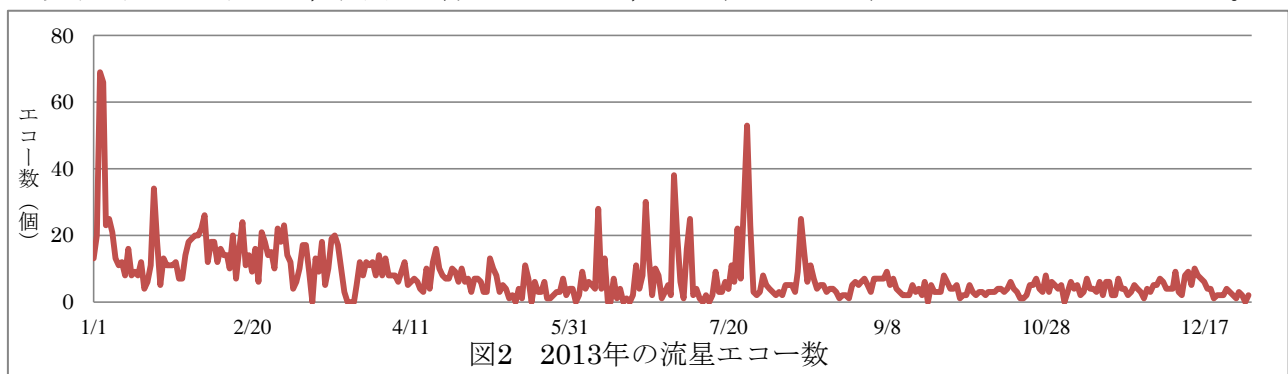
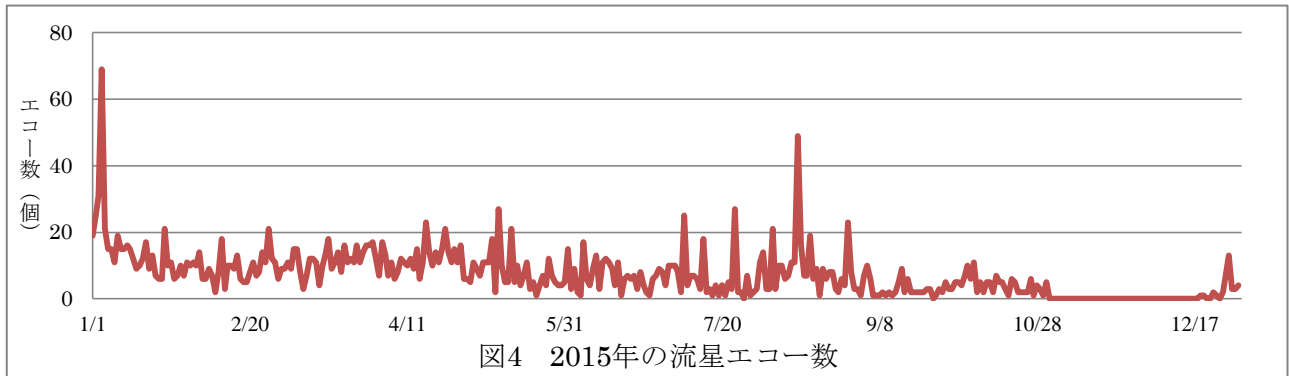
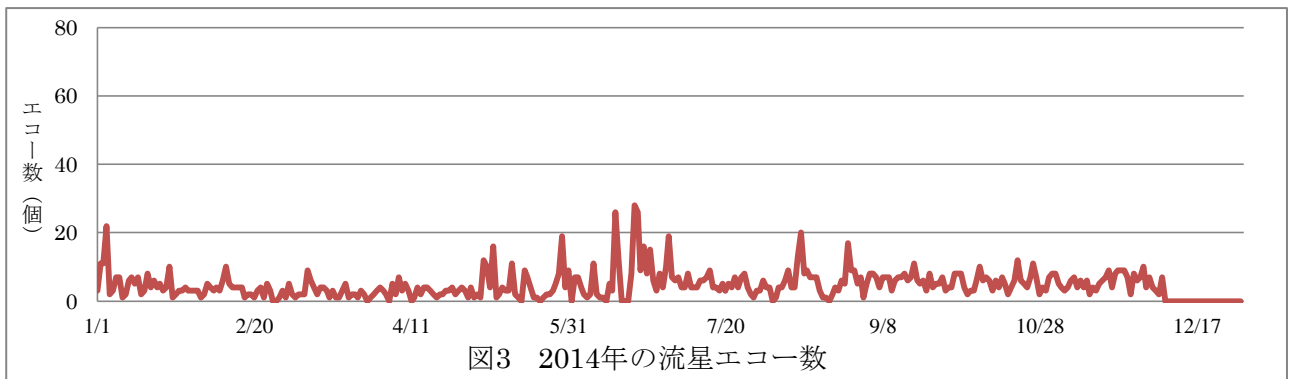
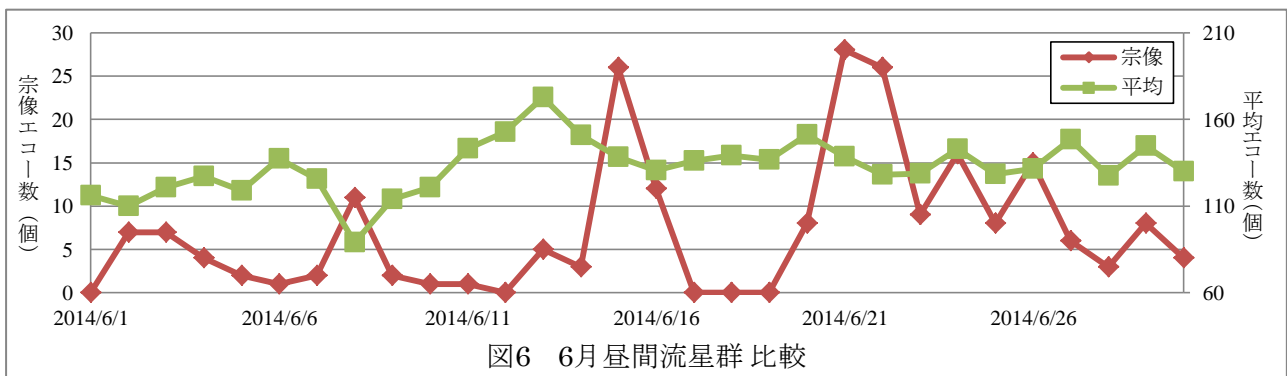
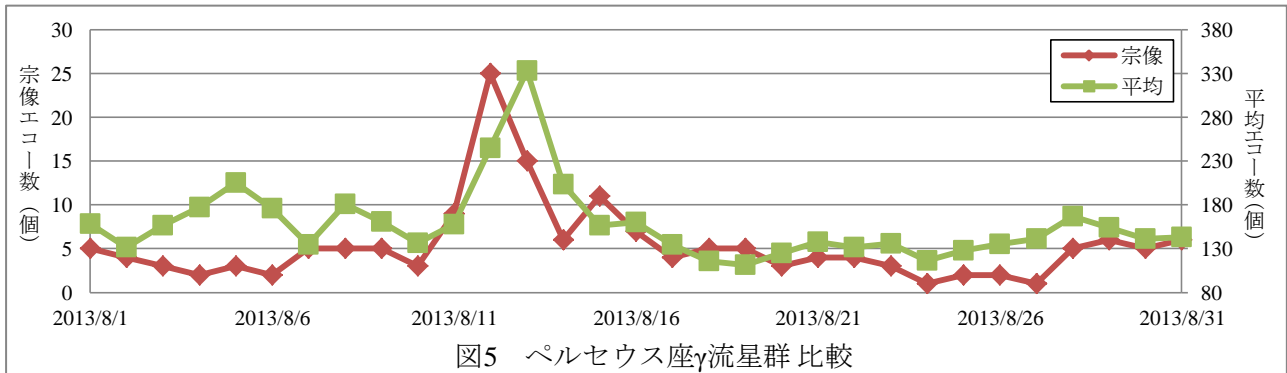


図2 2013年の流星エコー数



②現環境の精度

次の図5、図6は、2013年ペルセウス座 γ 流星群の時期(8月)と、2014年6月昼間流星群(おひつじ座流星群、ペルセウス座 ζ 流星群)の時期のグラフである。「平均」のデータは、広島県広島市安佐北区、大阪府枚方市、東京都府中市のデータを用いている。

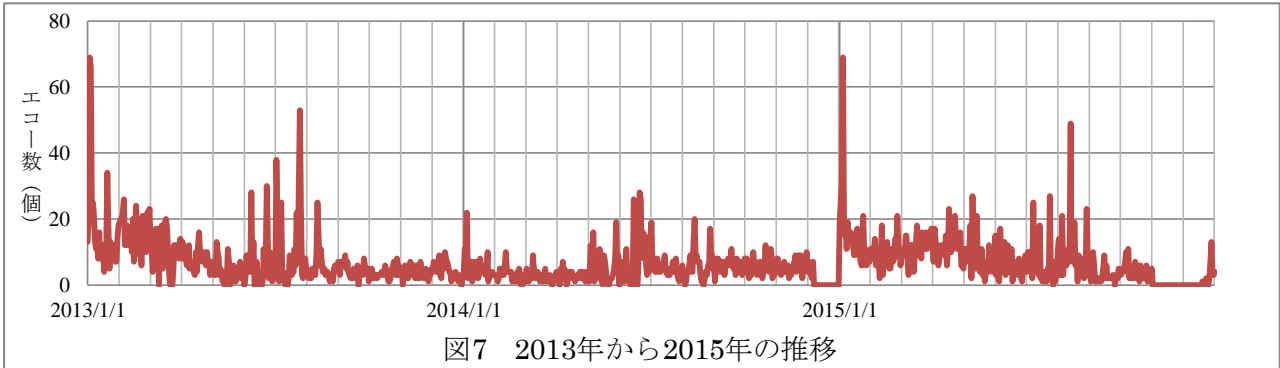


5.考察

①年ごとの比較

図2から図4を見ると、全体的な傾向として2014年は他の年に比べて流星エコー数がかかなり少ない。これは、日常的に観測することができる散在流星を含め流星の活動が停滞気味だったのではないかと考えられる。実際

に、2013年から2015年のデータを連結してグラフ化すると(図7)、2013年の1月から2014年の6月頃までは全体的に減少傾向が見られ、そこから2015年までは増加傾向が見られる。地球の公転軌道上にある流星物質がすべて地球大気と衝突して流星になったとすると、1年後に観測される流星は1年前に観測される流星とは全くの別物であるため、流星物質の飛来する量によって、流星の活動が活発になるかそうでないかを決定することになる。一般的には流星の活動はおよそ1年周期、秋分の頃に最も多くなり、春分の頃に最も少なくなるといわれているが、本研究で得られたデータを見る限りではそういった年周変化は見られず、もっと大きな周期で変化している可能性があるのではないかと考えられる。そのため、今後も継続して観測を続け、エコー数の推移を見る必要がある。



②現環境の精度

図5から、ペルセウス座流星群のような活動規模の大きな流星群は、捉えることのできているエコーの数こそ少ないものの、他の地点のデータと比較してもその特徴に類似点が認められる。それに比べ図6から、6月昼間流星群のように活動規模の小さな流星群では、他の地点の特徴と一致しない。したがって、精度が良いとは言えない。この原因として考えられることが、本研究で用いたアンテナの指向性と、受信できる電波の範囲である。

まず、アンテナの指向性について述べる。本研究で用いているアンテナは前述したとおりモバイルホイップアンテナであるが、一般的にHROによる流星の電波観測に用いられているアンテナは、八木・宇田アンテナである。図8のように、モバイルホイップアンテナ(「モバイル」は「移動体用」を表す)はすべての方位に対して均等な感度を持つ。それに対して八木・宇田アンテナは一定の方向に対し強い指向性を持つ。指向性が強ければ強いほど、そこから外れた範囲の電波は受信しにくくなるが、範囲の中にある電波は微弱なものでも受信できるようになる。HROは送信局から発信された電波の反射波を受信するため、送信点方向の電波の割合が多くなり、指向性があるアンテナの方がエコーを捉えやすくなる。これが、活動規模の小さな流星群の観測結果が一致しない原因のひとつであると考えられる。

次に、受信できる電波の範囲について述べる。流星の電波観測における反射波の受信条件は「送信点・受信点を焦点とした反射点を含む回転楕円面の、反射点での接平面内に流星飛跡がある」ことである(図9)。電波が届く範囲は、電波を送信するアンテナの性能と受信するアンテナの性能に大きく左右されるが、大まかに考えれば前述の条件から、「送信点と受信点を焦点とする楕円の、焦点を結んだ直線の延長線を軸とした回転体」の範囲内となる。送信点は福岡教育大学から見て東北東の方角にあるため、この方向に流星が出現した際に最も電波を受信しやすくなる。別の方角からの電波も受信は可能であるが、HROで観測できる流星の地上高はおよそ80kmから100kmであるため、送信点方向以外は全天をカバーできない。全天の北側は流星の放射点になりやすく、そういった理由から流星エコー数が他の地点よりも少なくなったと考えられる。

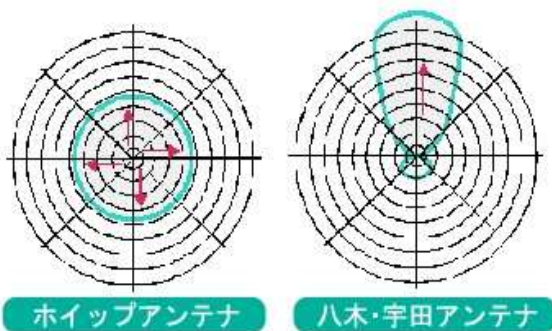


図8 アンテナの指向性

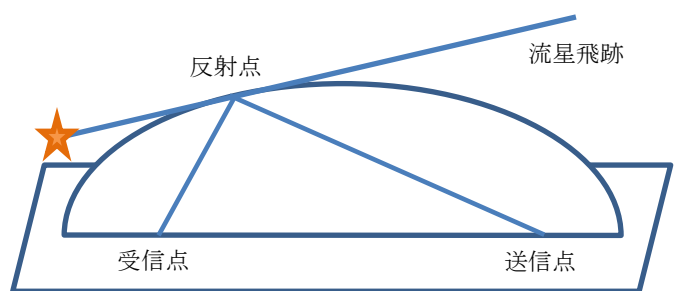


図9 反射波の受信条件