

電波流星観測用の屋外アンテナの感度についての研究

および流星の個数とその分布

5年 沼 勁太郎
担当教諭 稲用 健二

1、はじめに

私は現在、電波流星観測という活動を行っている。これは、福井にある福井工業高等専門学校から送信されている電波を専用のアンテナで受信することで、上空の流星をその電波の反射を用いて観測できるというものだ。私は、去年の先輩たちの研究を引き継ぐという形でこの観測を継続してきた。この研究は、現在私たちの学校とスウェーデンのキルナにあるリムドジムナジェットとの共同研究である「オーロラプロジェクト」の一環である。今年、実際にスウェーデンの学生との合同研究をすることもでき、より深い活動をすることができた。

電波流星観測は宇宙にちりばめられている流星物質の観測をするために非常に有効な手段であり、観測を重ねれば蓄積したデータをもとにして流星活動を詳しく調べることができる。現在、まだこの観測は始まって2年目であるが、さらに深く流星や宇宙のあらゆる現象について調べることができるようになるためにも、この研究が観測を続けていく後輩たちのきっかけになってくれれば幸いである。

2、流星と電波流星観測について

〈流星とは〉

流星の正体は、宇宙空間に漂っている小さなチリ(大きさは約2mm)である。このような、宇宙を流れる個体の粒子のことを流星体という。流星体が地球へと高速で突入すると、地球上空の大気との摩擦によって熱せられる。(衝撃波加熱)

表面温度が約2000度まで熱せられると、流星体の表面の物質が気化する。気化した物質が大気中の窒素と衝突することで、窒素は窒素イオンとなる。この窒素イオンの発光を、私たちは流星と呼んでいる。一般的に、目で観測できる流星は地上から約85kmから115kmの間で発光したものである。また、惑星よりも明るい(-4等級以上)流星のことを火球と呼ぶ。

〈電波流星観測とは〉

流星は発光する際に、周辺の大気を一時的に電子とイオンにわけける”電離”という状態を引き起こす。そのため、発行した流星の飛跡では瞬間的に電子の濃度が濃くなり、このような濃度が濃くなった場所を”電離柱”と呼ぶ。電波流星観測で使用する無線の電波は通常宇宙空間へ突き抜けてしまうが、電離柱は金属のように電波を反射する性質をもつ。この性質によって反射された電波を受信することで流星を観測するのが、電波流星観測のシステムである。また、その反射してきた電波を「流星のエコー」と言う。

〈電波流星観測のメリット〉

流星観測には、実際に目で流星を観測する眼視観測やビデオで上空を撮影するビデオ観測などがある。電波観測はこれらの他の観測と比べると、昼間や悪天候の中でも観測できるという特徴がある。また、パソコンを使用するため、24時間体制で流星観測を継続できるというメリットがある。

〈流星群について〉

流星観測を年間継続すると、ある特定の時期

に多くの流星が見られる時期がある。その期間は1週間程度で、その期間内でも出現数の増減があり、ピークを迎えて減少するという出現を見ることができる。この流星の活動が“流星群”である。流星経路を星図に記入し、流れた方向とは逆方向に延長するとある一点に集中する。つまり、その期間はその一点を中心に四方八方に流れる流星の数が多い期間といえる。この“ある一点”を放射点または輻射点と呼ぶ。この点がある星座の名前を用いて“流星群”と組み合わせ、〇〇座流星群と呼ぶ。対して、流星を出現方向とは逆に延長したときに空のある一点に定まらない場合、それらは「散在流星」と呼ばれ、流星群に属する流星とは区別して扱われる。

特定の彗星から分離したチリが原因のものが流星群であり、宇宙上に無数に不規則にあるチリが原因の流星が散在流星となる。

3、研究の内容

今回の研究では以下の2点に重点を置いた。
 (研究①) より精度の高い観測の実現に向けて
 (研究②) 観測による流星活動の様子分析

4、研究①の動機

電波流星観測を継続する中、今年に入ってから極端に流星への反応が減少したり、電波を妨害するノイズが多く現れたりするようになった。その原因はアンテナなどの機材の不



具合にあったのだが、原因を調べる中で、私はアンテナの置かれている環境がアンテナの感度に影響を及ぼすことを知った。そこで、本格的な観測を始める前に、私はどのような環境がアンテナの感度を変化させるのかを調べることにした。(上はアンテナの写真)

5、研究①の概要

現在、流星電波観測用のアンテナは学校の校舎(高さ約10m~15m)と昔使われていたビニールハウスの枠組み(高さ約2m~3m)がある中庭に設置されている。(下図参照)流星電波観測の専門書の中には「ビルなどの建物の間にアンテナがあると、アンテナの感度は悪くなる」と記述していたものがあった。アンテナの感度が落ちた原因の一つに、これらの建物の影響があるのではないかと考え、アンテナの設置場所を変えることで観測結果にどのような変化が現れたかを調べていくことにした。



6、研究①の内容

アンテナの周囲の環境を意図的に変え、それによって観測結果がどのように変わったかを調べる。以下の3種類の環境にアンテナを設置した。

(予備観測) 中庭の中央

ビニールハウスの枠組みや校舎からある程度離れた場所にアンテナを設置し、(次ページ図の円で囲んでいる場所)4日間その場所で観測を続け、観測結果に変化があったかどうかを調べた。この観測がこれ以降の実験の比較対象となる。また、観測期間は平成24年の1月20日から1月23日である。



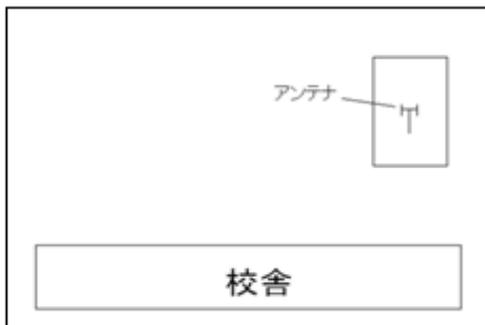
(1) 校舎とビニールハウスの枠組みの間

中庭にある校舎とビニールハウスの間にアンテナを設置し（下図参照）、そのまま4日間観測を続け観測結果に変化があったかどうかを調べた。また、観測期間は平成24年の6月24日から6月27日である。



(2) ビニールハウスの中

アンテナの近くにあるビニールハウスの枠組みの中にアンテナを設置し（下図、また右段の写真参照）、4日間ほどその場所で観測を続け、観測結果に変化があったかどうかを調べる。また、観測期間は平成24年の8月2日から8月5日である。



(観測 (2) の様子)

7、研究①の実験結果とその考察

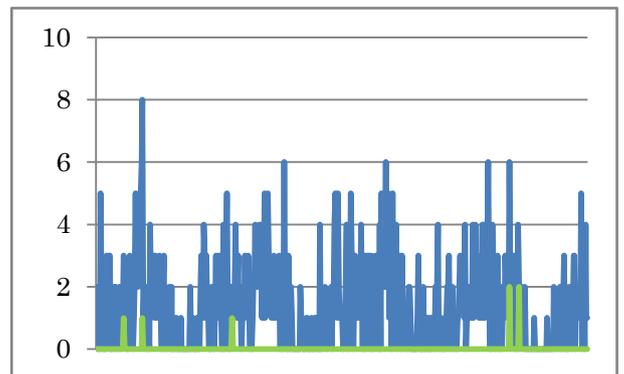
この実験では感度がどのように変化するかを、調査するため、流星のエコー数（流星がどれだけ観測されたかを示す数）がどのように変化したかを調べる。流星のエコーには20秒以下の短いものと20秒以上続く長いもの（ロングエコーと呼ぶ）の2種類がある。観測結果については、10分間に流星が観測されたか、観測した流星数はどれだけだったか、観測されたロングエコーはどれだけだったかの3つの視点で整理した。

(1) 予備観測について

〈結果〉結果は以下のようになった。

- ・観測できた回数・・・194回（576回中）
- ・観測された流星のエコー・・・469個
- ・観測されたロングエコー・・・7個

また、この結果をグラフに表すと下のようになった。また、グラフの縦軸は10分間に観測された流星エコーの数、横軸は何回目の観測なのかを表す。青線は流星のエコーの数、緑線はロングエコーを表している。



〈考察〉

- ・この予備観測は電波を妨害するようなものが周囲に何もない場所での観測のため、かなりの頻度で観測することができた。
- ・この期間は現在知られている流星群の活動期間には含まれないため、エコー数が多い時期には散在流星の活動が活発だったと考えられる。

(2) 実験 (1) について

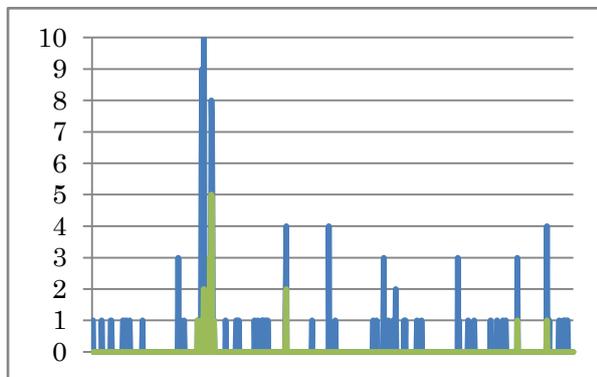
〈仮説〉

校舎もビニールハウスもビルほどに高い建物ではない。また、アンテナが室内にあるわけではなく、空の下にあるので、感度の変化はあまりないと考えた。

〈結果〉結果は以下のようになった。

- ・観測できた回数・・・74回 (576回中)
- ・観測された流星のエコー・・・145個
- ・観測されたロングエコー・・・27個

グラフに表すと下のようになった。



〈考察〉

- ・予備観測の時と比べると、観測できた回数、エコー数とともに減少していることがわかる。このことから、建物の間、もしくは近くにあると感度の低下につながりやすいことがわかる。
- ・一時的に観測したエコー数が多くなっているところがあるが、この時期は知られている流星群の活動時期には含まれていない。したがって、このエコーの増加は流星群によるものではなく、何らかの理由で散在流星の活動が活発になり、それをとらえたものだと考えられる。

(3) 実験 (2) について

〈仮説〉

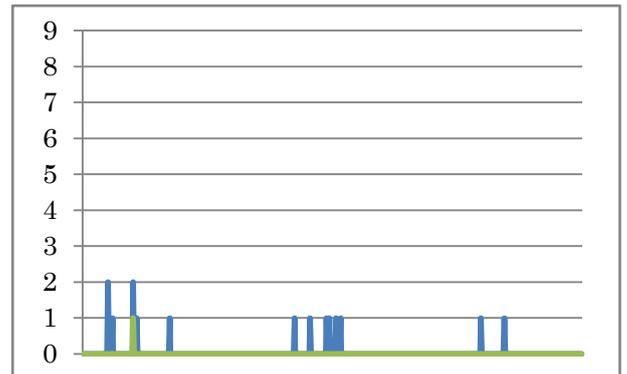
実験 (1) で、建物の近くにあると感度が低下することがわかった。実験 (2) では近づきだけではなく、アンテナが建物に覆われるような形になるので、実験 (1) よりも感度が低下

すると考えた。

〈結果〉結果は以下のようになった。

- ・観測できた回数・・・13回 (576回中)
- ・観測された流星のエコー・・・15個
- ・ロングエコーの数・・・1個

グラフに表すと下のようになった。



〈考察〉

- ・予備観測、実験 (1) と比べても、感度の大幅な低下がよくわかる。このことから、建物に覆われるような形になると、感度の低下は著しくなることがわかる。
- ・この時期はペルセウス座流星群の活動時期であるため、最適な観測場所であればたくさんの流星活動をとらえる可能性が高い。しかし、実験 (1) とは違い、実験 (2) では流星活動が活発になってもそれをとらえられていないことがわかる。

〈全体を通しての考察〉

- ・建物の近くにあるとアンテナの感度が低下することがわかった。よって、これからの観測ではいかに建物に近づけないかに注意してアンテナを設置する必要がある。
- ・実験 (2) での感度の低下は建物に覆われたからだけなのか、という疑問が残った。

8、実験 (2) の結果についての文献調査

実験 (2) の著しい感度の低下の理由が他に何かあるのではないかと考え、文献調査を

行った。

〈電波を妨害する物質について〉

文献によると、身近な電波を妨害する物質には、コンクリート、ガラス繊維、金属の3つであることが分かった。このことから、金属製のビニールハウスの枠組みが電波を妨害したと考えられる。

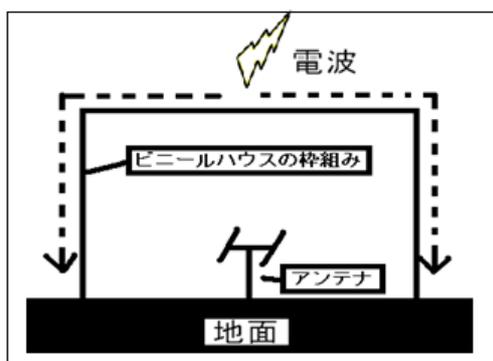
〈静電遮蔽について〉

ビニールハウスがどのようにして電波を妨害したのかを調べていくうちに、静電遮蔽という現象が影響しているのではないかと考えた。

静電遮蔽とは、導体で囲まれた空間には電界（電気的作用する場）が発生しないという性質のことである。これは電気だけでなく電波にもいえることで、携帯電話をアルミ箔でつつんだり、携帯ラジオを金網でできた箱などに入れたりすると電波を受信できなくなる。つまり、電気を通す素材である金属でできているビニールハウスの枠組みの中にアンテナを設置すると、流星電波観測用の電波が受信できなくなってしまう。建物による妨害に静電遮蔽の影響が重なったことで実験

（2）では感度が著しく低下してしまったりと考えられる。

下の図は実験（2）の様子である。アンテナの周りを金属製のビニールハウスの枠組みが囲んでいるので、電離柱によって反射された電波はアンテナよりも先にビニールハウスの枠組みに反応し、それを伝えていくために、ビニールハウスの枠組みで囲まれた空間には電波が入ってこない、つまり、アンテナが電波を受信できなくなるのである。



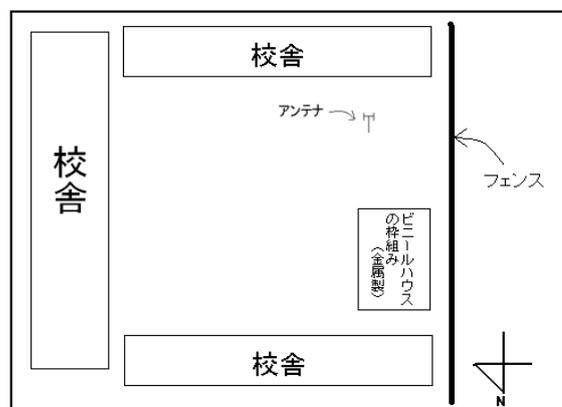
9、研究②の動機

実験①の成果で、安定した観測状況を確保することができた。そして、実際に観測を続けていくと、流星は毎日観測することができ、その数も予想以上に多かった。また、その量も多い日、少ない日があった。そこで私は、流星の数の増減には何か法則があるのではないかと考えた。

10、研究②の概要

流星電波観測用のアンテナは学校の中庭内にあり、校舎と昔使われていたビニールハウスの枠組み（金属製）の間に設置されていた。これまでは、北側の校舎とビニールハウスの枠組みとの間にアンテナがあった。しかし、前回の研究で、この場所ではアンテナがビニールハウスの影響を受け、感度が低下してしまうため、正常な観測ができなくなってしまうことが分かった。そのため、できるだけビニールハウスから遠く、かつ、ケーブルなどの機器の接続が可能な場所にアンテナを移動して観測を行った。（アンテナの設置場所、そして周りの状況との位置関係については次ページの図参照）

今回の観測では、観測によって得られたデータを様々な観点から整理することにより流星活動の様子がどうなっているのかを詳しく分析した。



11、研究②の内容

研究②では、観測で得られたデータを次の

二つの視点から整理し、流星活動の様子を数値化、そしてグラフ化することを目的とした。

- (1) 一日ごとの流星数およびロングエコー数
- (2) 一日における一時間ごとの流星数およびロングエコー数

また、観測期間は2012年の10月26日からの60日間であった。つまり、(1)の観点では60日間という期間の中で流星数がどのように変化したのかを調べ、(2)の観点では一日という期間の中で流星数がどのように変化したのかを調べるということである。なお、データの破損、観測機の不調などでデータが不完全だった日は観測結果には入れなかった。

12、研究②の結果の考察

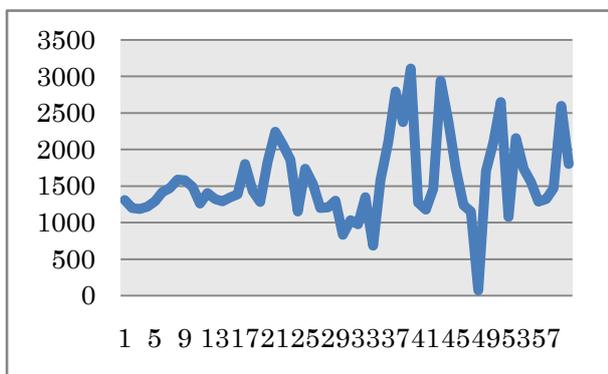
(1) 観点(1)について

〈仮説〉

流星は毎日観測することができるため、多少の増減があっても、その値に大きな変化はないのではないかと考えた。

〈結果〉

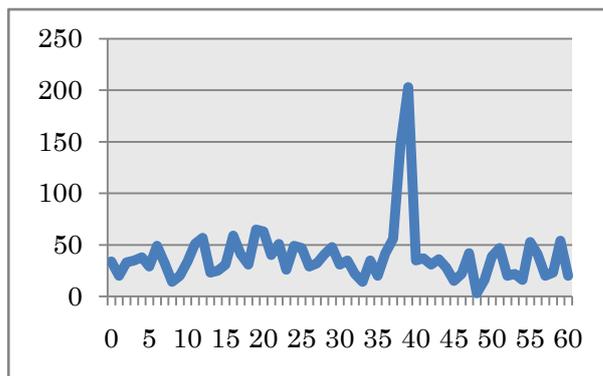
流星数のグラフは右段のようになった。なお、縦軸は流星数、横軸は何日目かを表している。



〈考察〉

・前半部分に比べると、後半部分では流星数の増減が激しい。この原因は流星活動の活発化、または多くのノイズの発生と考えられる。

同じく、ロングエコーのみでも同様の方式でグラフを作成した。



〈考察〉

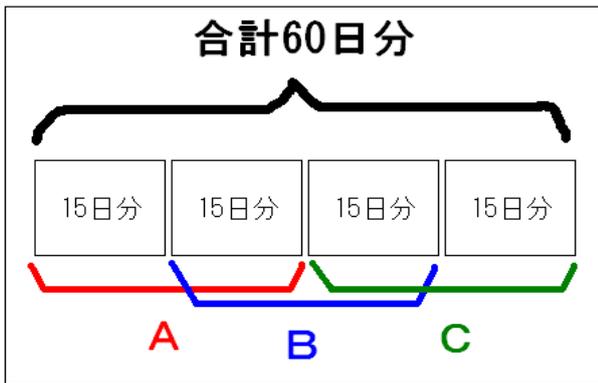
・全体的にあまり変化は見られないが、一時的に流星活動が活発であったところがあった(39日目)。この日はふたご座流星群という流星群の活動時期にあたるが、この一時的な増加がはたして流星群の影響によるものなのか、単なる散在流星の増加によるものなのかまでは分からなかった。

〈全体を通しての考察〉

・(1)の観点では、流星活動が活発になる様子やその時期をとらえることができた。しかし、流星数の増減に関する法則や、規則性などの特徴を発見することはできなかった。

(2) 観点(2)について

観点(2)では、30日分の一日当たりのデータをすべて合計したものでグラフを作成した。また、流星活動は自然現象であるために、突発的な増加や減少が起こることがたびたびある。この観点ではできるだけ平均的な値を算出するために、60日間の期間をA、B、Cの3つに分けて、それぞれを算出した。Aは最初の30日間の合計であり、逆にCは最後の30日間の合計である。そしてBは、その二つの中間の期間の合計である。(次ページの図参照)この方式の中でBは、より正確な1日あたりのデータを出す役割を持っている。



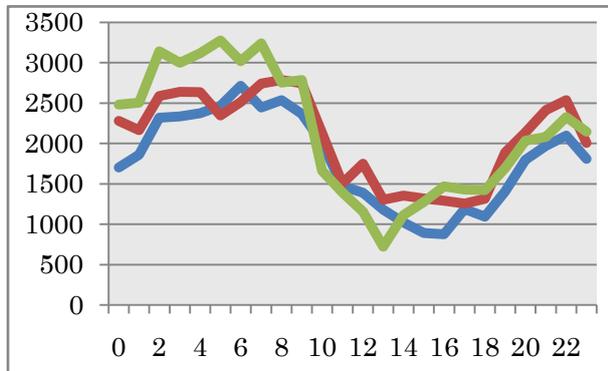
〈仮説〉

データを処理していると、一日の中でも流星が多い時間帯、少ない時間帯があるので、一気に増加したり減少したりするのではないかと考えた。

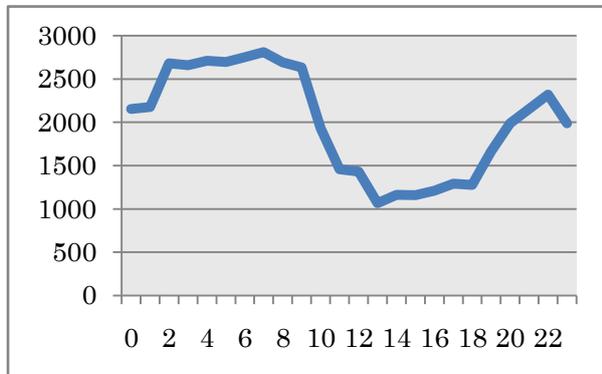
〈結果〉

流星数の結果は下のようになった。なお、グラフの縦軸は流星数、横軸は時刻を表わしている。

なお、グラフの線は青色が A、赤色が B、緑色が C となっている。(0時の段階で、上から C、B、A となっている。)



なお、3つのグラフの平均値が下である。

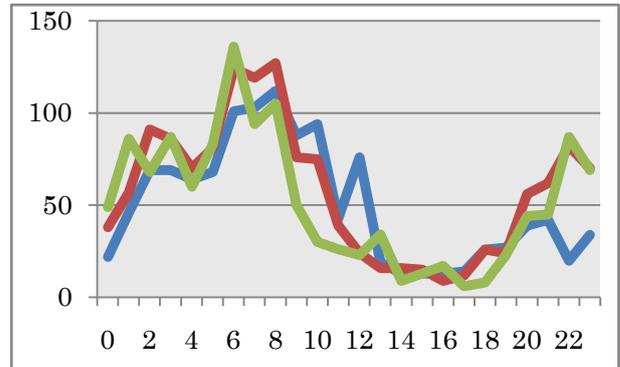


〈考察〉

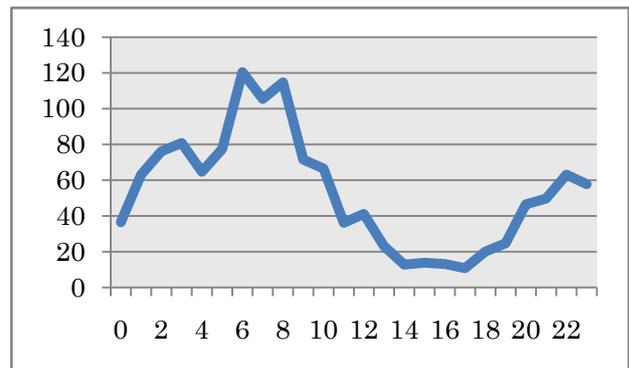
・期間ごとに少しの差はあるが、どのグラフも

増加したり減少したりを繰り返している様子がわかった。

同じく、ロングエコーのみでも同様の方式でグラフを作成した。グラフの線は同じく青色が A、赤色が B、緑色が C となっている。(0時の段階で、上から C、B、A となっている。)



なお、3つのグラフの平均値が下である。



〈考察〉

・流星数全体の時と比べると形は少し異なるが、増加したり減少したりしているという変化に関しては、同じであった。

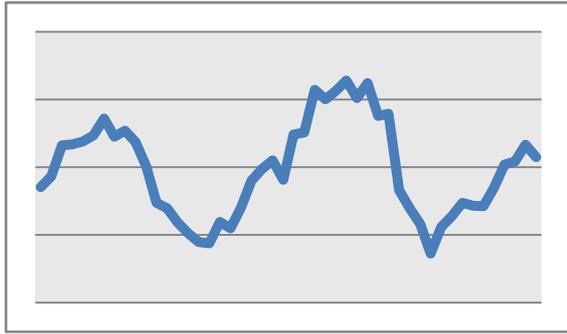
〈全体を通しての考察〉

・流星数の増減の様子をもう少し詳しく見てみると、全体の流星数とロングエコーのみのどちらでも、

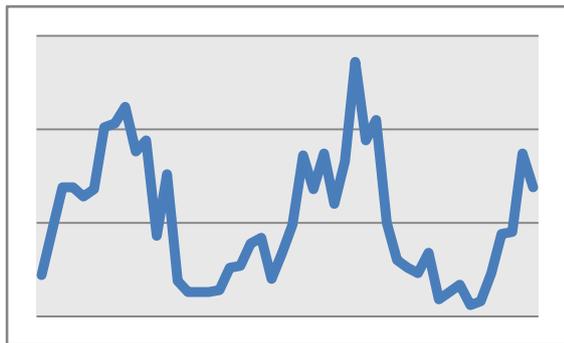
- i) 朝方から午前中にかけて増加している。
- ii) 午後になると、午後の中盤あたりまで減少している。
- iii) 一度減少した後は、その日が終わるまで増加する。

・次ページの図は、Aの期間とCの期間を連続させたものである。

(全体の流星数)



(ロングエコーのみ)



この図から、一日のなかでの流星の増減、つまり流星の日周期は増減を繰り返していく波の形を描くのではないかというように考えた。

13、研究②の観点（2）についての文献調査

観点（2）では、流星の日周期をグラフ化すると波を描くのではないかという考察を得た。はたしてこの考察は正しいのかを調べるために、以下の3つの視点から文献調査を行った。

(1) 流星数の周期変化について

(2) (1) を踏まえた予想

(3) 大学の先生からのご意見

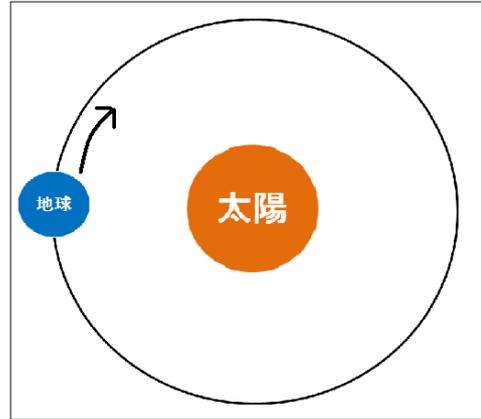
(1) 流星数の周期変化について

調べたところ、流星数には年周期が存在することがわかった。下は文献からの引用文である。

『散在流星が地球の公転軌道上に均一に分布していると仮定すれば、その観測数の年周変化は地軸の傾きと地球公転方向の角度の関係で、1年間で周期とする正弦波状の変化を考えると考

られる。』(「流星電波観測ハンドブック」より抜粋)

下の図は、地球の公転軌道の様子である。地球は一年をかけて、太陽の周りを円状の公転軌道を通って一周している。文献ではこの公転運動が流星数の年周期の原因であるとあった。

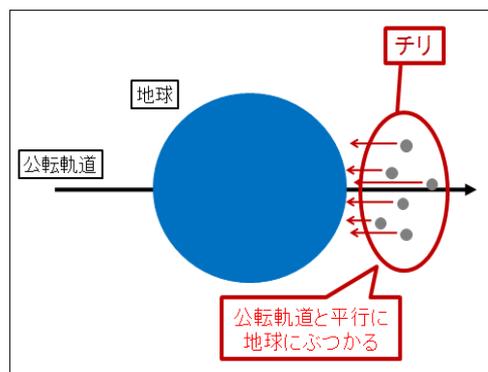


(2) (1) を踏まえた予想

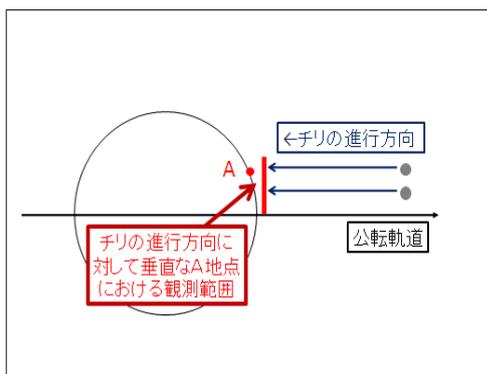
(1) によりわかった事実から、流星の年周期が地球の公転の影響を受けているのであれば、日周期の変化は、同じ1日の中で起こる変化である地球の自転によって引き起こされるものではないだろうかと考えた。また、その仕組みを自分なりに考えてみた。

i) 下は、地球の公転軌道上での運動の様子を横から見た時のモデル図である。地球が公転軌道上を動く時、流星の原因となる宇宙上に散らばるチリは地球の進む方向とは逆の方向に地球にぶつかることになる。この時、チリは地球の公転軌道と平行になる形で地球にぶつかる。

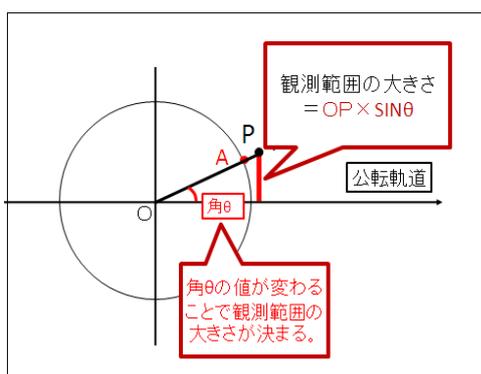
(下図参照)



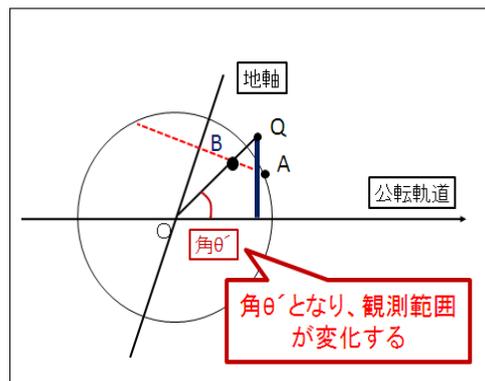
ii) 下は、i) の図をさらに簡略化したものである。電波流星観測では、このように地球に衝突したチリを観測するので、観測地点を A 地点とおくと、その観測範囲はチリに対して垂直になると考えられる。(下図参照) また、宇宙上に散らばるチリはあまりにも多く、数えることは不可能なため、観測した流星数の数が多ければ多いほど、観測範囲が広いと考えることができる。つまり、流星数は観測範囲の大きさに比例すると考えた。



iii) また、ii) で考えた観測範囲の大きさは、地球の中心を O、観測範囲の頂点を P とおくと、公転軌道と OP によって形成される角 θ を使って、 $OP \times \sin \theta$ の式であらわすことができる。また θ の値が変われば観測範囲の大きさも変化する。(下の図参照)



iv) また、地球の地軸は傾いているために、地球が自転すると観測地点は地軸に対して垂直に移動する。観測地点が地点 A から地点 B に移動すると、iii) の角 θ の角度は変化するため、観測範囲も変化する。(右段の図参照)



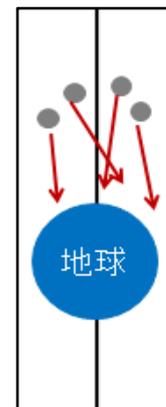
以上より、観測範囲の大きさには $\sin \theta$ の値が関わるので、流星数にもその影響がでたのではないかと考えた。

(3) 大学の先生からのご意見

(2) で立てた予想について、電波流星観測に詳しい宮崎大学工学部の前田幸治教授にご意見をいただいたところ、自分の予想には2つほど見落としとしていた点が見つかった。

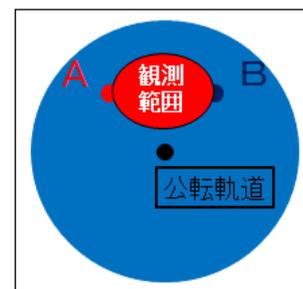
(1) チリの運動について

右の図は地球の公転軌道上での運動の様子を上から見たモデル図である。自分の予想ではチリは地球の公転軌道上に対して平行にぶつかると思ったが、実際は右の図のように、地球に対してランダムにぶつかる。つまり、チリは地球に対して平行にぶつかるわけではない。



(2) 観測範囲について

右は電波流星観測の観測範囲を前から見た図である。この観測は電波の反射を用いて観測を行うため、右図のように観測範囲は地点 A と地点 B の間に形成される。つまり、観測範囲は地球上に平面上に発生し、その面積を求めることはとても難しい。



また、前田幸治教授によると、流星数の日周期は確かに自転の影響から \sin カーブに似た形を描くことが分かっている。しかし、あくまでも似ているだけであり、実際にはチリや地球の運動を細かく観察し、それを計算したときに \sin が関係した式を導くことができるとのことであった。

14、終わりに

今回の研究では、アンテナの感度の精度をあげることから始まり、最終的には流星数の日周期にまで触れることができた。日周期については、完璧な正解にたどり着くことはできなかったが、変化に \sin の値が関係すること、そしてそれは地球の自転の影響を受けていることを観測によって推測できたことは大きな成果だと考えている。

しかしながら、観測期間がまだ短く、集めたデータがまだ不十分であったことが今回の反省点である。さらなる流星活動の調査のためにも、研究を受け継ぐ後輩たちには良い観測状況をしっかり維持し、貴重な観測データをしっかり集めてもらいたい。

15、寸評

県高総文祭自然科学部門、九州高等学校生徒理科研究発表大会での発表、スウェーデン学生との「宇宙」をテーマにした学校国際交流など、機会あるごとに貪欲に学んでいこうとする姿には正直感動しました。総合的な学習のモデルとなった学校として、「より本質的な学びとは何なのか」ということを常に問い直し続ける学校として、また、「21世紀の国際社会に通用する人材の育成を目指す」とした設立理念をもつ学校として、1つの素晴らしい模範となる姿勢だったと思います。今後、後輩たちが沼君の研究姿勢を見習い、よりよい成果を出していつてくれることを心から願っています。沼君自身が今回の研究をきっかけにさらに大きく飛躍

していくことを心から期待しています。

16、参考文献

- ・ CQ ham radio 流星電波観測ガイドブック (CQ 出版社出版)
- ・ 天体観測の教科書 流星観測 (誠文堂新光社)
- ・ ハムのアンテナ・テクニク (山海堂)