

眼視・電波・ビデオ・流星痕全国同時観測キャンペーン

HRO-TV-Train-Plot Observing Campaign (HTTP-Campaign)

代表：小川 宏 (日本流星研究会)

ogawa@nms.gr.jp

1. 目的

流星電波観測は、ここ数年で爆発的な普及を遂げ、各主要流星群において確実に活動を捕らえるなど大きな成果をあげてきている。一方で、流星電波観測の真価が問われ、いかにして意義のある観測をしてデータを得るか、そのデータからいかにして科学的意義を見いだすか、しっかりと考えねばならない時期となっている。特に、流星電波観測で観測している流星エコーは一体どこで発光したものは、いくつかのシミュレーションや観測は行われているものの、明瞭な結果としては出てきていない。過去、渡部潤一氏、鈴木和博氏、内海洋輔氏らが光学観測と電波観測との同定作業を行ったが、ある一定の結果は出てきているものの、決め手となるような結果は未だ出ていない。その大きな理由としては、観測サイトが単独であることや、秒精度で時刻が記録されていないなどがあげられる。

そこで今回は、光学観測と電波観測とがお互いに協力して、全国規模で一斉に観測を行おうと考えた。それが「眼視・電波・ビデオ・流星痕全国同時観測キャンペーン」である。各観測方法において詳しい方を中心メンバーとしてお願いし、光学・電波の同定観測を決行した。

2. 方法

今回のキャンペーンでは、光学観測と電波観測との同定を行うために、まずは電波観測が観測しているであろう上空の領域(反射領域)を幾何的にシミュレーションして、そのシミュレーションに基づいて、光学観測でその領域を追う。シミュレーションには、渡部潤一氏、内海洋輔氏が使用してきたモデルを使用し、一斉観測は、みずがめ流星群ややぎ座流星群、ペルセウス座流星群が混在する 8月 2/3 日とした。

3. 反射領域シミュレーション

流星電波観測では、一般的に流星が形成した電子濃度の濃い「電離中」(流星飛跡)に対して、電波の入射角と反射角が等しいという条件が成り立つ(アンダーデンスエコーにおいて)。ここで、入射角=反射角が成り立つ点の集合は、送信局と受信局を焦点とする楕円上に分布する。渡部潤一氏、内海洋輔氏が使用しているモデルはこの発想で、反射する場所を、前述楕円を 3 次元的にしたもので、回転楕円体を使用している。そして流星の突入ベクトルとある高度 H における回転楕円体の法線ベクトルとの内積が 0 であれば、流星はその回転楕円体に接し、さらに入射角=反射角の条件を満たすこととなる。一般的な x, y, z 座標系において、焦点までの距離、すなわち送受信局間距離の半分を d 、 $y=H$ が発光高度とする。回転楕円体の方程式は

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2 - d^2} + \frac{z^2}{a^2 - d^2} = 1 \quad (1)$$

となる。次に、回転楕円体での法線ベクトルを求める。まず上式をパラメータ s で微分する。

$$\frac{d}{ds} \left(\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2 - d^2} + \frac{z^2}{a^2 - d^2} \right) = \frac{d}{ds} \cdot 1$$

$$\frac{dx}{ds} \frac{2x}{a^2} + \frac{dy}{ds} \frac{2y}{a^2 - d^2} + \frac{dz}{ds} \frac{2z}{a^2 - d^2} = 0 \quad (2)$$

ここで、 $\left(\frac{dx}{ds}, \frac{dy}{ds}, \frac{dz}{ds} \right)$ は、接線方向のベクトルであるので、このベクトルと法線ベクトルの内積は 0 である。法線ベ

クトルを (L, M, N) とすると、

$$L \cdot \frac{dx}{ds} + M \cdot \frac{dy}{ds} + N \cdot \frac{dz}{ds} = 0 \quad \text{ここで(2)と比較すると、} \quad (L, M, N) = \left(\frac{2x}{a^2}, \frac{2y}{a^2 - d^2}, \frac{2z}{a^2 - d^2} \right)$$

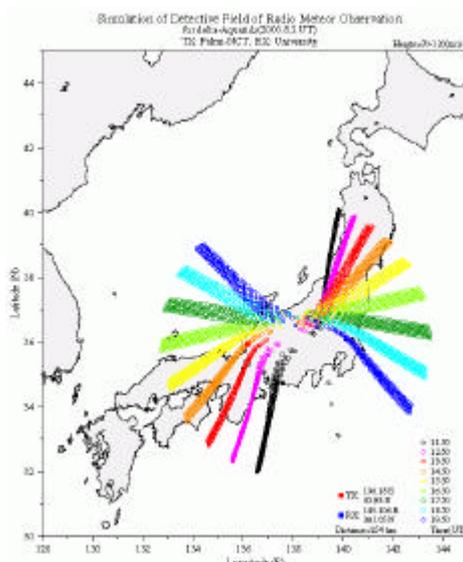
となり、法線ベクトルが求まる。法線ベクトルと流星ベクトルの内積が 0 だから、流星ベクトルを (l, m, n) とすると、

$$\frac{2x}{a^2} \cdot l + \frac{2y}{a^2 - d^2} \cdot m + \frac{2z}{a^2 - d^2} \cdot n = 0 \quad (3)$$

となり、(1)式と(3)式の連立方程式を解けばよい。長半径 a については、本来はきちんとレーダー方程式から減衰を求めなくてはならないが、今回は総距離が 1000km 以上にならないよう、つまり $a = 500\text{km}$ を最大限としている。さらに、長半径と短半径がひっくり返らない値から計算。

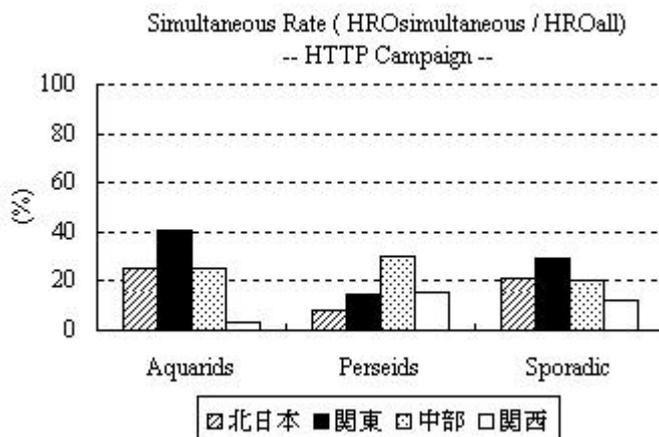
シミュレーション結果は右図の通りである。発光高度は 70km-120km を想定して 10km 毎にシミュレーションした。右図は、茨城県の筑波大学における 8 月 2/3 日のみずがめ 流星群の反射領域シミュレーション結果である。丸い点はその反射条件を満たしている点であり、筑波大で観測している領域はこのエリアであることが推測される。時間は 1 時間毎に計算している。

これらは、UNIX 系の C-Shell Script, GMT, Fortran でプログラミング。現在は Windows 環境下でもソフトをインストールすることで、DOS プロンプトで動作するようになっている。



4. 結果 and 考察

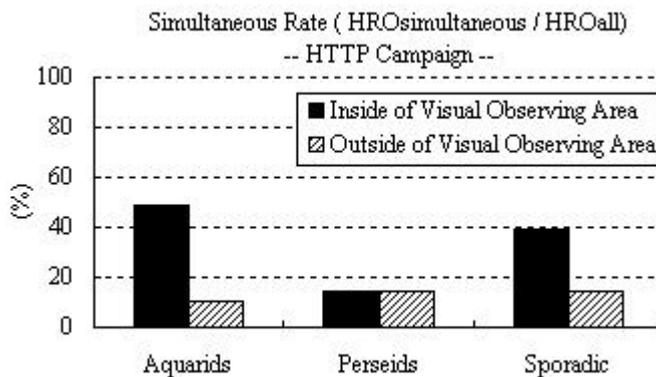
今回のキャンペーンにおいて、眼視観測は 5 データ、電波観測は 49 データが集まっている。その中で、0:00~2:00(JST) までのデータを使用、眼視観測の観測している領域は仙台より南側で、主に東関東から房総半島にかけての上空となっている。まず、眼視観測で観測された流星一個一個に対して、流星電波観測 49 地点中、何地点で同定が取れているかを割合として算出する。従って、ある流星について全サイトで同定が取れれば、同定率 100% となる。



上の図が、各地方別に調べた同定率である。みずがめ 流星群において、関東地方の同定率は高いが、関西地方では低い。これは、眼視観測で観測している領域が関東から房総半島上空である事と、そのエリアに電波観測の反射領域があるかどうか依存する。関東地方では、眼視観測での観測時間帯において、反射領域が関東上空に存在するが、関西地方では全体的に反射領域が西側にずれるため、眼視観測で観測している領域に反射領域が存在しない。従って、この結果は、関東地方の電波観測地点の反射領域が関東上空にシミュレーション通り存在していたことを示唆する。

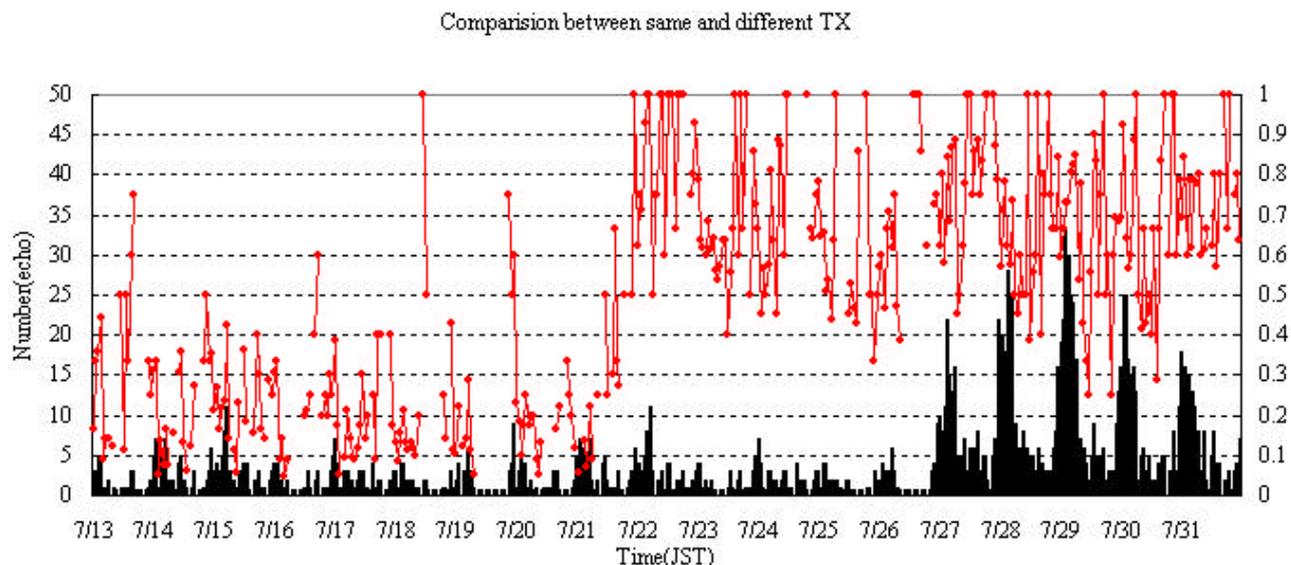
また、関東地方において、みずがめ 流星群の同時率は高いが、ペルセウス座流星群では同時率が低い。それは、ペルセウス座流星群の反射領域が日本の南海上であるのと同時に、輻射点高度が低く、反射領域は線のように細い。従ってペルセウス座流星群の同定率は低く、みずがめ 流星群の同定率は高い。

一方、以下のグラフは眼視観測領域に電波の反射領域があるかないかでわけたものである。



反射領域が眼視観測のエリア内にあるサイトの同時率は 48% となり、エリア内がないサイトの 10% に比べると飛躍的にその同時率は高い。従って、先ほどの結果通り、電波の反射領域を眼視で観測すると同時率は上昇し、眼視観測のエリア内に電波の反射領域が存在したことを示しているといえる。

また、以下のグラフは、茨城県つくば市で観測を行っている、原浩敏氏の観測結果で、折れ線が、53MHz と 28MHz の同時エコー数、そして折れ線グラフは、53MHz の 28MHz に対する割合を示したものである。



7月 22日までは 53MHz の送信局が福井工業高等専門学校(福井県鯖江市)、28MHz が長野県豊科町(矢口氏)となっており、28MHz の送信局と 53MHz の送信局が異なる。そして 7月 22日以降は、28MHz、53MHz 共に長野県豊科町が送信局となっており、送信局が同じとなった。

送信局が同じである場合、たとえ周波数が違っても、送受信局を焦点とする回転楕円体を考えている時は、焦点が同じなので、楕円体も同じとなり、28MHz であっても 53MHz であっても同じ反射領域となる(厳密にはハイトシーリングの効果があり違う)。つまり、28MHz と 53MHz の送信局が異なる 7月 22日までは、それぞれの送信局に対して回転楕円体が作られるため、そのエリアが重複したときのみ、同時エコーとなりうる。一方、7月 22日以降は、回転楕円体と同じであるため、同時率が飛躍的に上昇している。従って、反射領域は確実に送信局と受信局との位置関係で決まっており、今回のシミュレーションの妥当性が改めて実証されると共に、特定のエリアに反射領域が存在することも示している。

5. 今後について

今後は、反射領域の面積を算出し、各サイトでアンテナの指向性を考慮し、単位面積あたりのフラックスに換算。さらにバックグラウンドでエコー補足数を補正し、眼視観測でいう ZHR の算出を試みる。これによって、流星電波観測からもフラックスを求めることができ、流星群の活動規模を流星電波観測からもしっかりと把握できると期待される。超えるべき課題がまだまだ多いが、これまで全国的に組織だっで一斉実験をしたことはなく、今回の HTTP キャンペーンによって流星電波観測の世界では大きな一歩を踏み出したといえる。

さらに、今回の HTTP キャンペーンでは、宮尾佳世さんが研究している「多周波数解析から流星群の特徴を探る」ことや、流星痕グループ、網倉忍氏ならびに柳田英利奈さんが研究している「火球とロングエコーとの関係」など、多目的な研究が同時進行し、成果も徐々に出てきている。

今後も多くの研究がなされ、今回は流星電波観測がメインとなって動いたが、将来的には、光学観測でも多目的にこのような観測を行い、数多くの成果が得られることを期待する。

最後に、HTTP キャンペーンに参加して下さった皆様に感謝の意を表し、今後ともさらなるご協力を賜りますことよろしくお願ひ申し上げます。

流星電波観測分科会資料

ここ数年で爆発的に流星電波観測者が増え、世界的にも例を見ない密なメッシュで観測が行われています。さらに 2002 年から 28MHz の観測もスタートし、流星電波観測も多様化してきました。そのような中で、今一度現状と問題点を把握し、さらなる流星電波観測の発展と今後の可能性を模索していきたいと思えます。

1. これまでを整理すると

2000 年 ITEC から受信機が販売、HROFFT の Windows 版が公開され普及し始める

2000 年しし座流星群で電波観測の存在意義が高まる。初めて世界データの統合を試みる (Ogawa, et al, 2001)

2001 年流星電波観測国際プロジェクトがはじまる。世界 15 カ国 91 地点の参加を得る

ITEC + HROFFT のセットが普及を後押しし、爆発的な HRO の普及を遂げる

しし座流星群の全体的なプロファイルやサブピーク構造などを観測する (Ogawa, et al, 2002)

2002 年 28MHz の観測が始まり、53MHz では観測できない暗い流星の観測を行う (Usui, et al., 2002)

流星電波観測国際プロジェクト 2003、23 カ国 120 地点以上の参加。

時刻精度が飛躍的に向上した年。

2003 年 同プロジェクトの収録が発行される

6ch 観測地点の出現。アンテナの方向による流星数の差の観測

流星電波観測の反射領域を観測するキャンペーンの実施

2. 現時点でのホットな話題

(1) 6ch の流星電波観測実験

現在、茨城工業高等専門学校ならびに高知工科大学にて、東西南北各方向、天頂二タイプの合計 6 チャンネルが動作している。反射領域の考察や、ロングエコーの出現方向の推定などに期待が寄せられている。今後の可能性についてさらにみなさんと議論したい。

(2) 反射領域

流星電波観測が観測している領域は実はシビア。鏡面条件で電波が散乱することを仮定すると、反射領域を計算することができる。この結果から、アンテナを向ける方向や、観測領域の補正值など、様々な分野へ切り込んでいける。この可能性について議論していきたい。

(3) 多周波数観測

現時点で、28MHz、53MHz、FM 帯、VOR 帯、144MHz の観測がなされている。特に 28MHz、53MHz、VOR は定常的に観測しているサイトが増えてきている。周波数が異なると、検出できる限界高度が変化するため、観測できる限界等級が周波数が低ければ低いほど暗いものまで検出できることになる。このことを生かして、流星群の特徴を知ることができる。この現状と可能性について議論したい。

(4) ロングエコーについて

ロングエコーは電子密度の濃いオーバーデンスエコーとされている。電子密度が濃いということは流星の発光光度が明るいことになるが、奇妙なことに眼視の火球情報とロングエコー情報とは必ずしも一致しない。一致しないどころか一致率はきわめて低い。ただしロングエコーについては HRO サイトの同時性は高く、多くの地点で受信される。なぜ眼視と電波と一致しないのか議論したい。

3. このほかに議論すべき事と小川宏が勝手に思うこと....

(1) 今後の普及活動について

流星電波観測は爆発的な観測地点の増加となった。その反面で、サポート、問題点の解決が手薄になっているのも事実である。さらに、流星電波観測プロジェクトとしてどこまで浸透させるのか。広報普及活動についても議論を重ねたい。ちなみに、web のアクセス数は主要流星群時には数日間で数万～数十万をたたき出す。

(2) 様々な HRO 観測上の問題点について

分科会参加者よりどしどしと挙げていただきたい。

(3) データ公開形式について

どのような形でデータ公開が望ましいか。Excel で集計されたデータか。生データか。

(4) その他

日頃たまっている疑問、意見、提案、文句、愚痴なんでもどうぞ！