

流星電波観測国際プロジェクトの取り組み

The International Project for Radio Meteor Observation

小川 宏¹

Abstract: Radio Meteor Observation is an important observation method for monitoring a meteor activity. This is because it is possible to observe even in bad weather or daytime. Besides, it becomes possible to obtain whole meteor activity information by combining worldwide data. In this time, the international project was planned and 172 observing stations participated. Many main meteor showers monitored and analyzed these structures as dust trail. This method, however, is impossible to determine a meteor appearance position because observing area depends on the entering angle of a meteor. Japanese radio observers are trying to determine a observing area. This research reports results monitored main meteor showers, and introduces some researches about observing areas.

1. はじめに

流星は、地球大気に突入した際、周辺大気をプラスイオンと自由電子とに電離する。すると周辺大気の電子濃度が上昇し、流星飛跡に沿って電子密度の高い「電離柱」が形成される。この電離柱を形成する自由電子には超短波帯の電波を散乱させる性質を持っており、通常は宇宙空間へと突き抜ける超短波帯の電波も流星出現の際は散乱される。これを利用したものが流星電波観測である(Fig 1)。流星電波観測には、前方散乱と後方散乱とがある(Fig 2)。後方散乱は流星飛跡に対して電波が垂直に入射し、反射してくる。この観測方法はレーダー観測に代表され、電波の打ち上げ角や電波が戻ってくる時間が分かるので、流星の速度や高層大気の風速などが分かる。一方、前方散乱は流星飛跡に対して入射角と反射角とが等しく散乱される。そのため、電波の送信局と受信局とが異なる。後方散乱を用いた流星電波観測は設備が高価で、観測はプロに限られている。一方、前方散乱を用いた流星電波観測は、一箇所の送信局があれば多くの地点で観測できるため、観測が手軽で容易である。従って、日本には近年広く普及し、世界的にも流星電波観測のほとんどは前方散乱による観測となった。この流星電波観測は、電波を用いているため、天候に関係なく、昼夜一貫した観測が可能である。そのため、流星群活動をモニターするには適した観測といえる。これまで、多くの流星群が流星電波観測によってモニターされ、その活動を着実に捕らえてきた(Ogawa et al. 2002 など)。

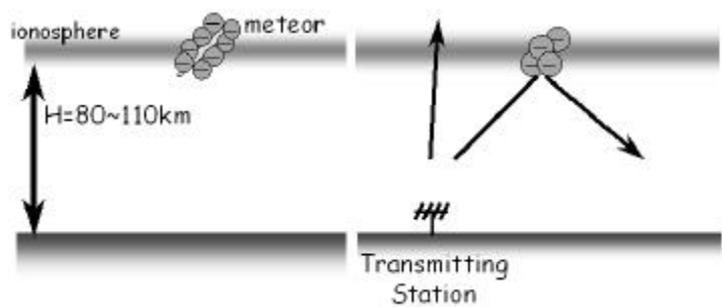


Fig 1 流星出現による超短波帯電波の散乱メカニズム

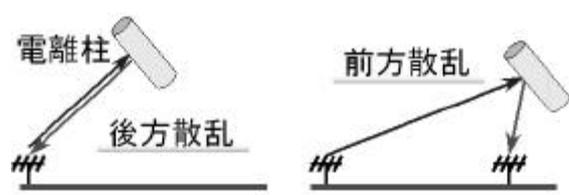


Fig 2 後方散乱と前方散乱

流星電波観測は、天候に関係なく昼夜一貫した観測が可能ではあるが、いくつかの問題点がある。ひとつは、流星群の輻射点が沈むと、流星群活動が観測されないということである。従って、一地点の観測からは流星群活動を網羅することは難しい。また、仮に多地点のデータを統合する際も、単純に合わせただけでは、その観測地点の観測機器や周辺環境、観測環境によって一概に足し合わせることはできない。

¹ 筑波大学第一学群自然学類 / 日本流星研究会 ogawa@nms.gr.jp

2. 目的

流星電波観測は、前述のように天候に関係なく昼夜一貫した観測が可能であるが、一点では流星群活動をカバーできない。従って、流星電波観測国際プロジェクトを立ち上げ、世界の流星電波観測結果を統合することを2001年より行った。このプロジェクトでは世界の流星電波観測結果を統合して、流星群活動を完全にモニターし、流星群の構造や特徴などを解明し、将来的には、流星群の歴史、彗星の歴史へと発展させていくことを目的とする。

3. Activity Level について

世界の流星電波観測結果を統合する際、各観測地点のアンテナや受信機など観測機器によって得られる流星数は大きく異なる。また設置環境や地理的要因でも捕らえられる流星数は大きく異なる。従って、単純に流星の電波観測結果を統合することはできない。そこで今回は、世界の流星電波観測結果を相対値で評価し、大量のデータを扱うことで、これらの問題を回避する。その相対値を Activity Level と呼び、以下の式で定義する。

$$A(t) = \frac{H(t) - H_0(t)}{D_0} \cdot \frac{1}{\sin q}$$

$H(t)$ は時刻 t における、観測流星数、 $H_0(t)$ は、同時刻におけるバックグラウンドの流星数、そして D_0 は、バックグラウンドの日平均である。この式は観測流星数からバックグラウンドの流星数をさっ引いているので、流星群活動がなければ Activity Level は0となる。従ってこの式は「通常レベルに対してどのくらいの規模の活動を見せているか」を示している。 q は輻射点高度で、 $1/\sin q$ の項は流星の流量補正である。

4. 参加者について

本国際プロジェクトに参加している参加地点は23ヶ国172地点である。Fig.3 と Fig.4 が参加者マップである。

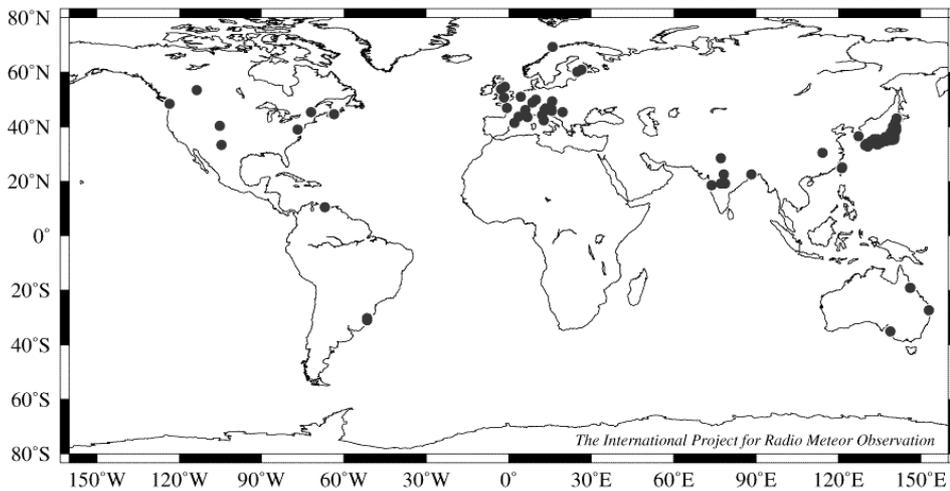


Fig.3 世界の参加者マップ

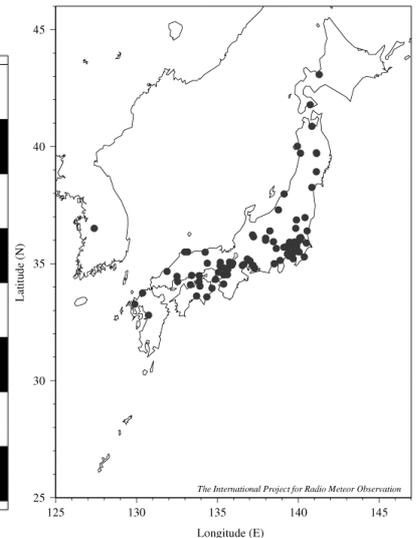


Fig.4 日本国内の参加者マップ

上図のように、世界各地からの参加があった。特に、ヨーロッパや日本では観測地点が集中しているのがわかる。これらの地点ではサンプル数が多くなるため、非常に安定した値が得られている。その反面、中東・西アジアのデータが不足し、現状では日本・ヨーロッパ・アメリカで世界はカバーしているが、さらに密な観測ネットワークを構築するにはこれらの地域のデータが必要不可欠である。また、北半球では観測地点が豊富であるが、南半球のデータは不足し、南半球で突発出現があったときには、その流星群を見逃す可能性が高い。従ってこれからもさらなる観測サイトの発掘とデータ収集が必要である。

5. Activity Level を用いた流星群の経年変化

Activity Level を用いて、主要流星群の経年変化を測定した Fig.5 はしし座流星群の経年変化である。縦軸が Activity Level、横軸が太陽黄経(2000年分点)を示している。

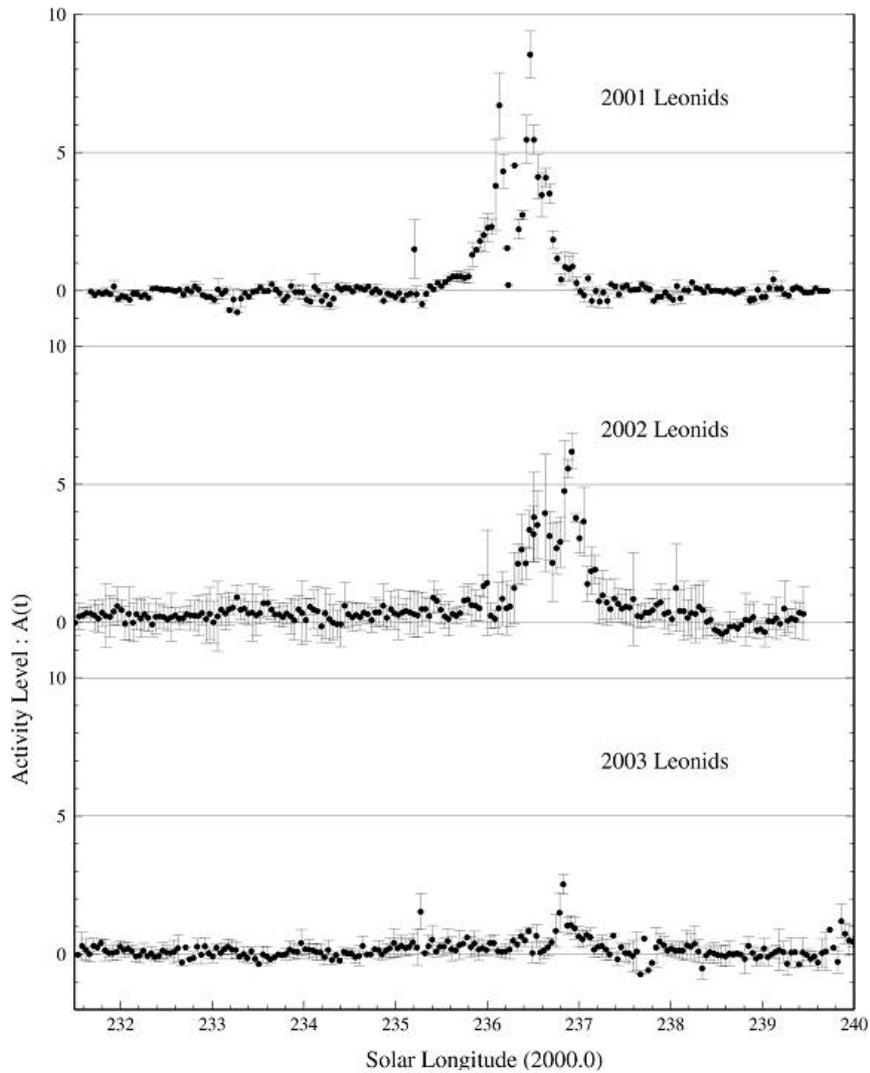


Fig 5 しし座流星群の経年変化

2001 年の大出現後、2002 年も高いレベルの活動が観測されてきた。2003 年はそれらの時期に比べると、活動レベルが明らかに低下していることが分かる。2001 年は太陽黄経 236.471 付近で Activity Level=8.55 の活動が観測されている。2003 年は最大でも太陽黄経 236.832 度で Activity Level=2.54 である。そして、Fig 6 は、2003 年と 2004 年のしぶんぎ座流星群の結果を示したもので、2004 年のしぶんぎ座流星群が活発であったことが比較で分かる。

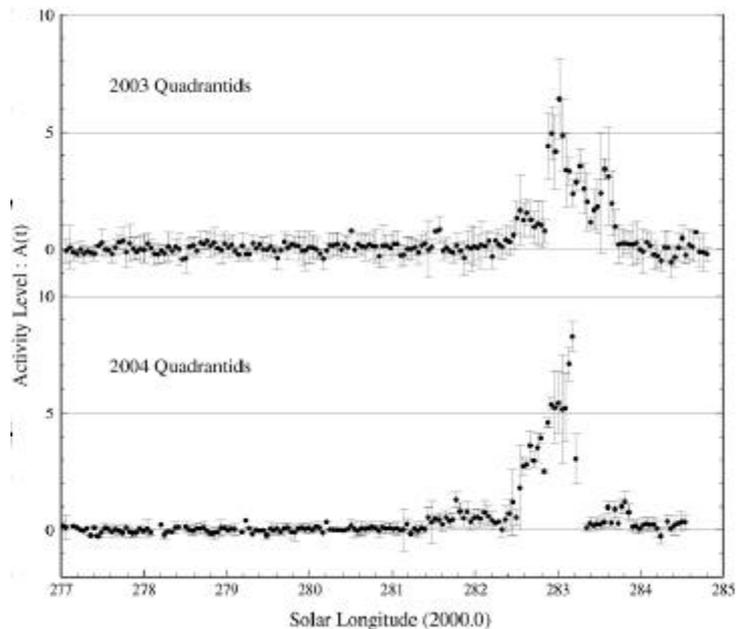
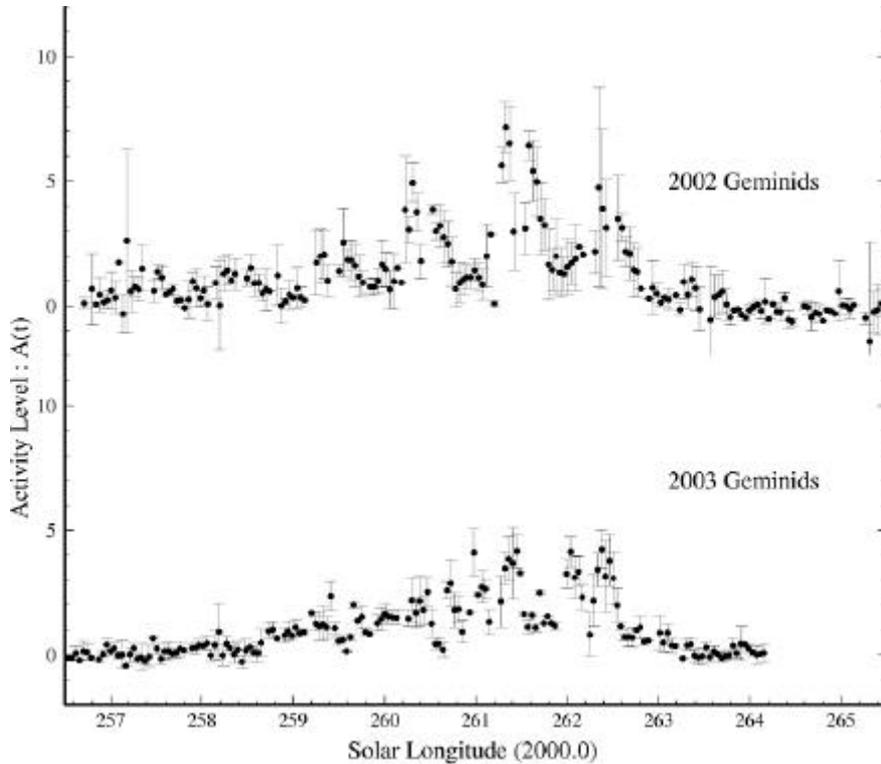


Fig 6 2003 年と 2004 年のしぶんぎ座流星群

6. 電波観測と光学観測との同時観測

このように，Activity Level を用いることによって流星群活動を評価し，流星群の活動構造を解明することができた．ところが Activity Level にも限界がある．下の図はふたご座流星群の結果である．ふたご座流星群では Activity Level では活動レベルがガタガタとなり他の光学観測とも大きく異なる．



2002 年と 2003 年のふたご座流星群結果

これは，流星電波観測特有の反射特性にある．そもそも，流星電波観測で観測している流星がどこに出現したものであるのかは現在よくわかっていない．これが流星電波観測の最大の欠点であり，光学観測結果との互換性もないため，物理的な情報に乏しい．今回は，流星電波観測で観測している領域を幾何的にシミュレーションし，その領域を光学観測することを試みた．

6.1 反射領域シミュレーション

流星電波観測で観測している領域は，渡部(1983, 1984)や内海(2003)で用いられた反射領域シミュレーションを使用する．このシミュレーションは，電波が流星飛跡に対して入射角 = 反射角で散乱されるとして計算がなされている．この前提条件の下で，この条件を満たす点の集合は，送信局と受信局を焦点とする回転楕円体となり，流星飛跡はその楕円体に接する必要がある．するとその接点では流星ベクトルと法線ベクトルとの内積が 0 になる．これらふたつの連立方程式を解き，結果を求める．詳しくは文献を参考にして頂きたい．以下がその算出式である．

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

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

x, y, z が流星の出現位置． z は発光高度で，発光高度はハイトシーリング高度で最大を区切り，最低は 85km 付近としている(Miyao and Ogawa 2003 より)． A は回転楕円体の長半径を示す変数で最大を 500km とした． L ,

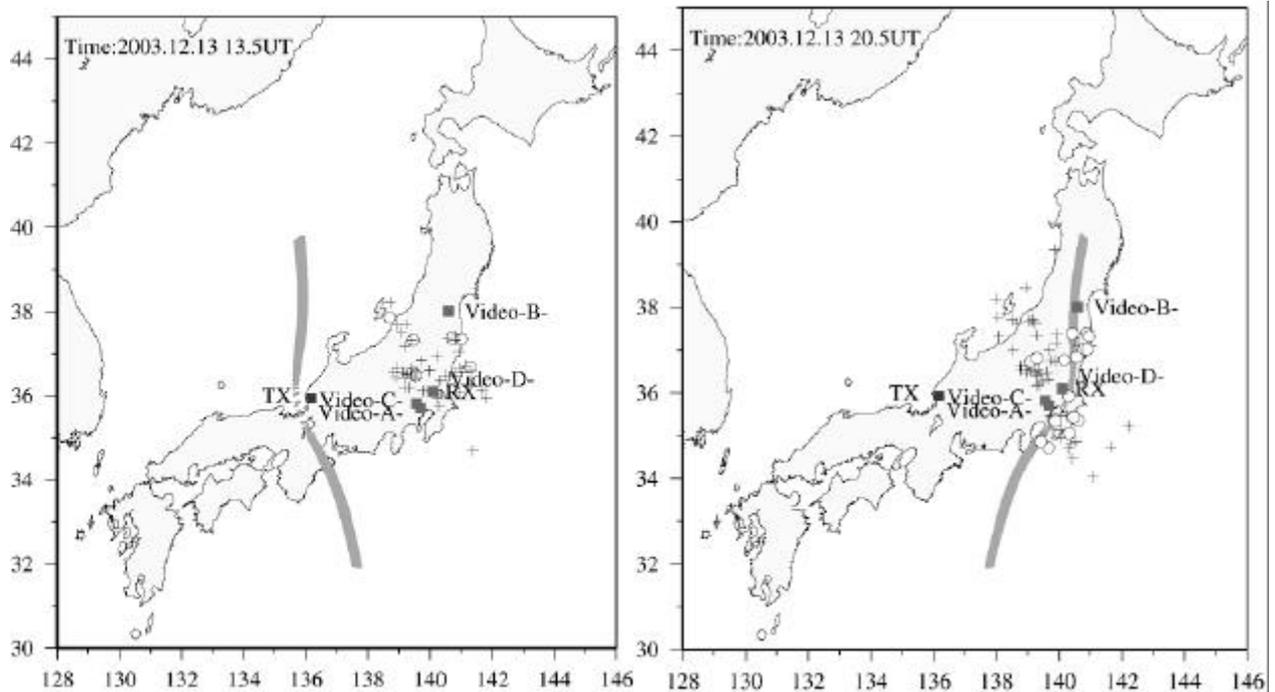


Fig 7 流星電波観測(筑波大学)と光学観測との同定結果

Fig. 7 は、流星電波観測と光学観測と同定結果である。印や+じるしは、ビデオで観測された流星を発光高度を仮定してマッピングしたものであり、 \square は電波観測サイトと同定されたビデオ流星、+印は同定されなかったビデオ流星を示しており、灰色の帯状の領域が、筑波大学で流星電波観測した場合の反射領域である。この図より、シミュレーションされた流星電波観測領域の近くでは \square 印が多く、そうではなく離れた場所では +印が多く分布していることが見て取れる。とはいつても時間帯によってはそうでもない時間帯がある。それは、0 等級やマイナス等級のような明るい流星は、電離柱の電子密度が高くなり、電離柱そのものの寿命が長くなった結果であると推測される。これは、電離柱の寿命が長くなると、鏡面反射がいたるところで成り立ち、多くの場所で反射条件が成り立つ。従って、流星電波観測シミュレーションの前提条件が崩れるため、どこからでも散乱され受信されてしまったものと考えられる。そこで、Fig.8 には、左側がビデオ流星全部を用いた同定マップで、右側が2 等級以暗の流星のみをマッピングした結果である。

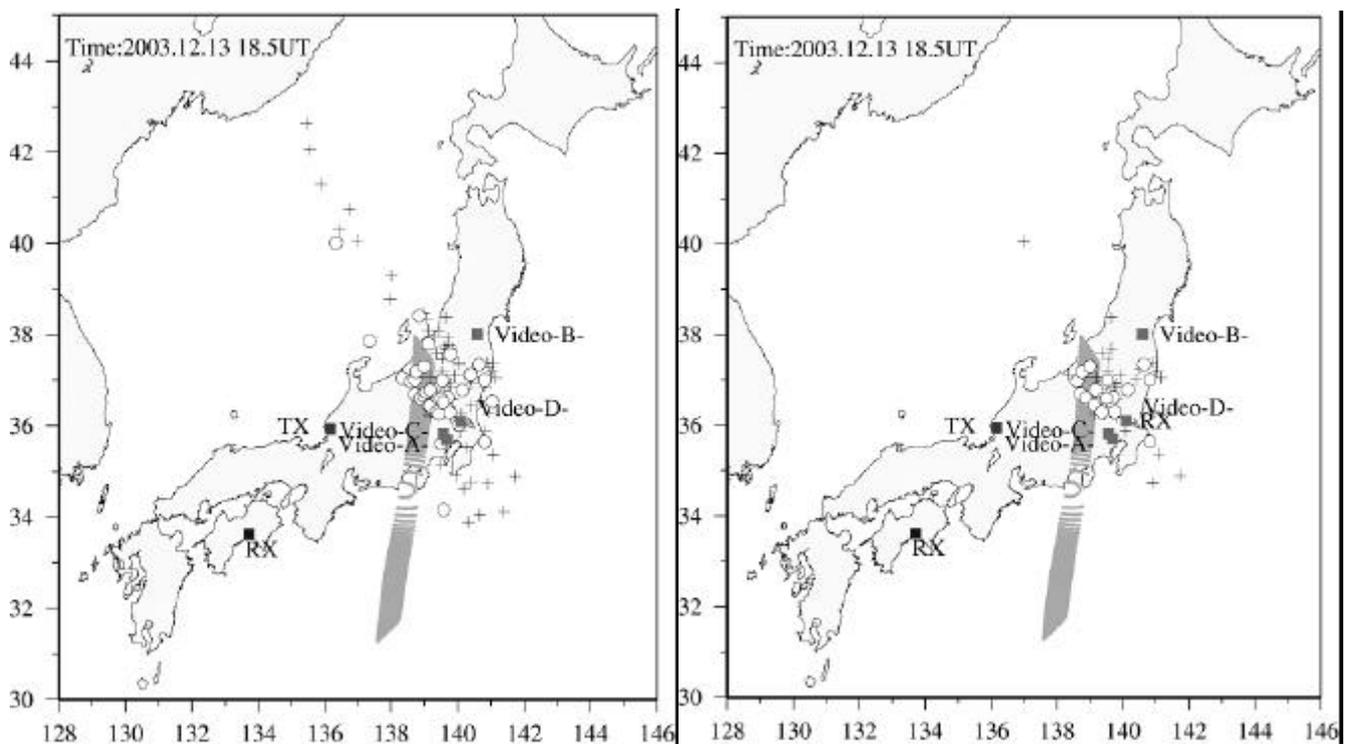


Fig 8 全ビデオ流星対象(左)と2 等級以暗流星対象(右)の電波とビデオとの同定マップ

Fig.8 より、シミュレーションされた流星電波観測領域付近に 印が残る。この結果から、比較的暗い流星の場合は、シミュレーションされた流星電波観測領域付近に分布し、Fig.8 でカットされた明るい反射領域シミュレーションに左右されず様々なところに分布していることも分かる。これに加えて、シミュレーションされた流星電波観測領域付近に同時流星かどうかを分布するかどうかを議論する際にいくつか問題点が指摘できる。ひとつは、ビデオ観測で得られたデータはすべて自動解析ソフトにかけられる。従って、群判定・光度判定・発光点・消滅点などもすべて自動で求められている。この精度には確たるものはないので、群判定そのものが間違っている場合がある。Fig7 や Fig8 はすべて群流星のみしかプロットしていない。そのため、この中に散在流星が混合している可能性がある。また、明るい流星をある一定光度でしきい値を設ける際、流星の発光光度も判定が甘いものがある。よってこれら二つの図は一概には言えないことを気にとめなくてはならない。

7. まとめ

1996 年からアマチュア無線を用いた流星電波観測が始まって以来、これだけのビデオ流星数と電波観測サイト数で同定作業を行ったことはなかった。そのような中でシミュレーションされた流星電波観測領域を光学的に確認できたことは大きな意義があるといえよう。今後さらなる研究と共に流星の物理量を測定できるよう、意味のある流星電波観測を目指していきたい。

また、もはや流星電波観測だけでできることの範囲は限られており、光学観測との合同観測を今後も継続し、さらなる研究を重ねて行ければと思う。今後も多くの方々のご協力をお願いしたい。

謝辞

本研究を行うにあたり、多岐にわたる分野から多くの方のご協力ならびにご指導を頂いた。まず、眼視・電波・ビデオ・流星痕全国同時観測キャンペーンの実施にあたり、日本流星研究会の全面協力を頂いた。同会幹事長の川崎康寛氏を中心にご支援頂いた。さらに流星痕同時観測キャンペーン、流星電波観測国際プロジェクト、高校生天体観測ネットワークの後援も頂き、全国同時観測キャンペーンを展開した。眼視計数観測においては、日本流星研究会の長田和弘氏、橋本岳真氏、内山茂男氏から、ビデオ観測において同会の上田昌良氏よりご協力を頂き、流星痕観測においては流星痕同時観測キャンペーン事務局の戸田雅之氏、比嘉義裕氏、山本真行氏のご協力を、流星電波観測国際プロジェクトからは、同プロジェクト参加者の臼居隆志氏、原浩敏氏、東北大学在学宮尾佳世氏、そして流星電波観測者が 1996 年より使用している 53.750MHz の電波送信局である福井工業高等学校の前川公男氏、28.208MHz 観測の送信局である長野県の矢口徳之氏のご協力を得た。その他、和歌山県みさと天文台の豊増伸治氏、長野工業高等学校の大西浩次氏には国際プロジェクトの立ち上げにご協力頂き、国際会議での発表や論文作成などにも多くの助言を頂いた。そして、本研究の根底とも言える反射領域シミュレーションについては、筑波大学自然科学類の内海洋輔氏、原浩敏氏から助言を頂いた。特に原浩敏氏には観測・理論・解析の細部にわたる助言を頂き、本研究に対して多くのご意見を頂いた。この他、全国同時観測に際して、アンテナの指向性を考慮するために、茨城工業高等専門学校、高知工科大学において、全方向のアンテナを設置するなど大規模な設備を組み立て、データ提供をしていただいた。観測データを頂いた方は以下の通りである。(敬称略) 網倉忍、井上弘行、内山茂男、長田和弘、金高美咲、佐藤孝悦、佐藤幹哉、野原大輔、松下郁、溝口勝秀、井上弘行、植原敏、内山茂男、上田昌良、越山展行、関口隆志、原浩敏、筑波大学、明治大学、西武台高等学校、上田高等学校、相原理己、上田昌良、臼居隆志、苧側正明、小林正幸、近藤大輔、三部重雄、杉本弘文、高瀬武、高橋明広、鶴岡利明、内藤久典、長尾和之、法澤公寛、原浩敏、広井康行、藤戸健司、増澤敏弘、三宅俊英、森脇直樹、山本道成、横川英彰、吉川泰史、茨城工業高等専門学校、上田高校、高知工科大学、大東高校、筑波大学、徳島大学、野辺山観測所、星野女子高校

参考文献

- [1] Ogawa, H., Toyomasu, S., Ohnishi, K., Maegawa, K., Amikura, S., Asahina, T., Miyao, K., 2002b: The 2001 Leonids by the Radio Meteor Observing Network in Japan, *WGN* **30**, 120-126
- [2] Watanabe, J., 1983: Expected Region of Shower Meteors Detectable by Forward Scattering Method (I), *Radio Meteor Research* **10**, 32-55
- [3] Watanabe, J., 1984: Expected Region of Shower Meteors Detectable by Forward Scattering Method (II), *Radio Meteor Research* **12**, 4-21
- [4] Utsumi, Y., 2003: Simulation for detective field of HRO, *The Institute of Space and Astronautical Science(ISAS) Report SP* **15**, 105-112
- [5] McKinly D.W.R., 1961: Meteor Science and Engineering, *McGraw Hill Book Company*
- [6] Miyao, K., Ogawa, H., 2003: Research for the Characteristics of Meteor Shower from Multi-Frequency Radio Observation, *International Meteor Conference 2003*