

# 流星電波観測国際プロジェクト総括

小川 宏

筑波大学自然学類 / 日本流星研究会 [ogawa@nms.gr.jp](mailto:ogawa@nms.gr.jp)

豊増伸治 (和歌山県みさと天文台), 大西浩次 (長野工業高等専門学校),

前川公男 (福井工業高等専門学校), 矢口徳之 (AMRO-NET)

## 1 はじめに

流星電波観測国際プロジェクトは2001年に正式に立ち上がってから、3年目に突入しており、後少して4年目となる。このプロジェクトを通じて、実に多くの方が流星電波観測に興味を持ってもらい、そして単に観測するだけでなく、流星群活動をモニターし、流星群の活動構造を解明するという点において大きな貢献を果たしてきた ([1],[2])。もちろん問題点も多々あるが、ここ数年、日本の流星電波観測も飛躍的に精度が上がり、流星電波観測のサイエンスとしての意義を確立するために様々な研究をする準備ができたと言える。ここからが本当の意味でのHROの勝負所であろう。多くの方に支えられたこのプロジェクトを総括しようと思う。

## 2 流星電波観測国際プロジェクトの目的

本プロジェクトでは、主に主要流星群のモニター活動、流星群活動の構造を天候や輻射点高度に依存することなく捕らえることを目的として立ち上げた。流星電波観測は10分ごとに観測画像を作り出すという、ほぼリアルタイムでのデータが見える形となって供給されてくる。しかしながら従来はその特徴を生かしきれておらず、和歌山県みさと天文台がHRO-Liveとして世界に向けて10分ごとにリアルタイムで情報提供をしたのはまさに画期的だったといえる。同時に10分ごとにデータが出てくるため、集計さえすれば速報性も非常に高く、確実に活動を知るには絶好の観測方法であった。そこで、本研究では前述の通り二点を主軸として掲げた。

ひとつは速報性。これは、前述したように、流星電波観測は高い速報性を持っているにもかかわらず、これまでリアルタイムでの情報提供はなかった。しかしこれには、世界のデータが集まる場所が存在していなかったことが大きな理由であった。従来、RMOBやGlobalMS-NETなど国際的に流星電波観測結果がまとめられることはあっても、ほぼリアルタイムでの情報提供サイトは存在していなかった。そこでこのプロジェクトではまず、速報の場を提供した。自動FTPソフトとCGIを使用して、自動的に観測画像をwebに更新し、cgiがそのディレクトリ情報を読んでhtmlファイルを生成している。これはプロジェクト開始から時が経つにつれて、世間のブロードバンド化が進んだため、より一層充実することとなった。またそれと同時に世界からのアクセス数も膨大となり、アクセス集中によるアクセス困難も生じるまでとなった。

そしてふたつめの目標は、流星群活動の構造を解明することである。これは、流星電波観測は断続的にデータをとり続ける。従って、継続したデータ構築がなされ、世界のデータを統合することで、とぎれなく流星活動を把握していることになる。これは、光学観測では悪天候などで阻まれたらなし得ないことである。これによって、予想されていない極大や、予想されていた極大など、様々なプロファイルを捕らえることに成功している。

## 3 参加者

参加者は2001年には15ヶ国、2002年には23ヶ国の参加を得る、まさに国際的なネットワークとなった。2003年現在の参加者は図1のようになっている。参加地点数は現在23ヶ国172地点である。

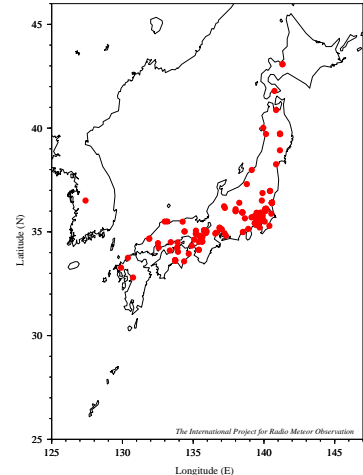
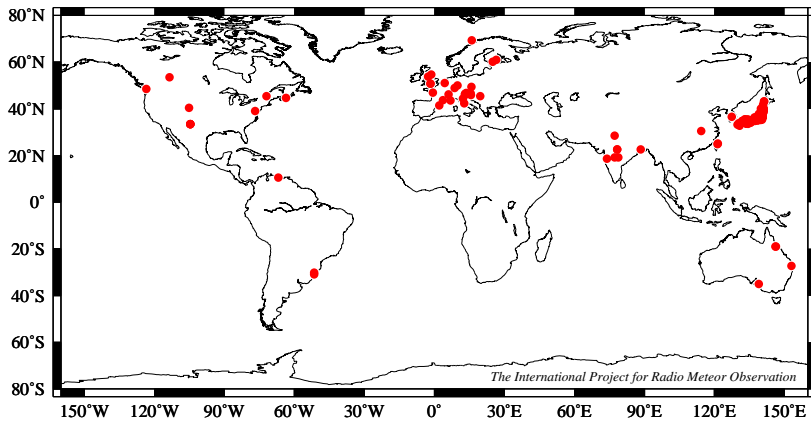


図 1: 流星電波観測国際プロジェクト参加者マップ

ご覧頂くと分かると思うが、全球をほぼカバーしているため、継続した流星データをとることはできるが、その地点のほとんどは北半球に偏っている。従って、南半球で流星群の突発や活動の主体がある場合は、非常に不利なネットワークとなる。幸いにも流星群のほとんどは北半球で見られ、活発なものが多いが、南半球のカバーが今後の課題ではある。

## 4 データの扱い

本プロジェクトでは断続的に流星活動を追いつめるため、全世界の流星電波観測データを統合しなくてはならない。ところが、各観測地点で得られる流星数は、受信機やアンテナなどの観測機器、送信局の種類や周波数、設置場所などの周辺環境に大きく依存し、得られる流星数は大きく変動する。従って眼視係数観測のデータのように単純に値を平均化する事はできない。そこで、この解析を行うために相対地を用いることにする。この相対地は Activity Level と呼ばれ、以下の式 (1) で定義される [3]。

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

ここで、 $H(t)$  は時間  $t$  における観測エコー数、そして  $H_0$  はその時間におけるバックグラウンドのエコー数を示している。 $D_0$  は 1 日あたりの流星エコー数で、相対値にするための値である。これが各サイト毎に異なるため、結果的に各地で観測された流星活動が活動レベルという相対値で導き出されてくる。そしてその後の項は、輻射点高度  $\theta$  の変化に伴う流量補正である。また、流星群の輻射点为天頂近くになると流星電波観測の特性上、観測される流星数が減少するため、今回のデータ解析には輻射点高度が 20 度以上 80 度未満のデータを使用している。さらに、バックグラウンドデータから、全サイトで全サイト平均値より標準偏差  $\pm 1.5$  以内には全データが入っていることから、各時間において、生データの平均値から  $\pm 1.5$  の範囲内を解析データとして採用し、それ以外は異常値として解析からはデータを除外している。ただし、平均値から  $\pm 1.5$  ではまだばらつきが大きいので、今回の解析においては、生データの平均値から  $\pm 0.75$  範囲内であるデータを使用した。それらのデータを再度平均してその時間の Activity Level を求め、標準偏差でエラーバーをつけた。

## 5 結果

Activity Level を用いて、主要流星群の経年変化を測定した。図 2 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。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、図 3 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。

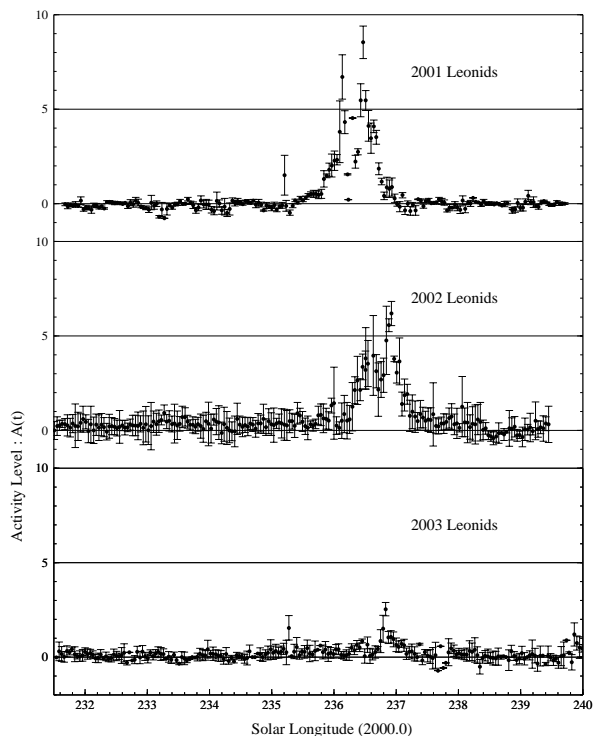


図 2: 2001 年～2003 年のしし座流星群 (左)

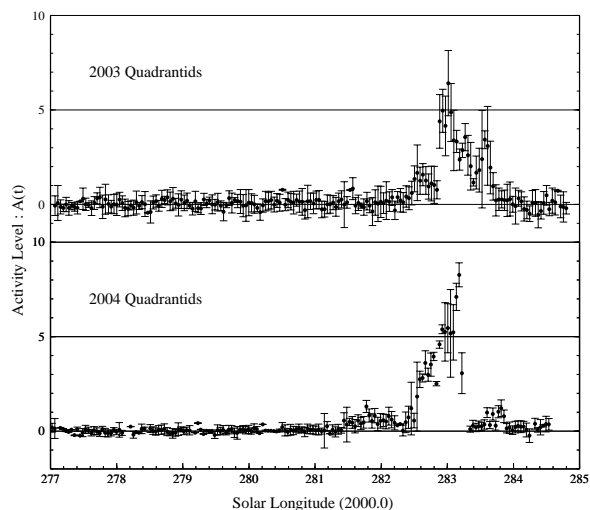


図 3: 2003 年、2004 年のしぶんぎ座流星群 (右)

## 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。図 4 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。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。

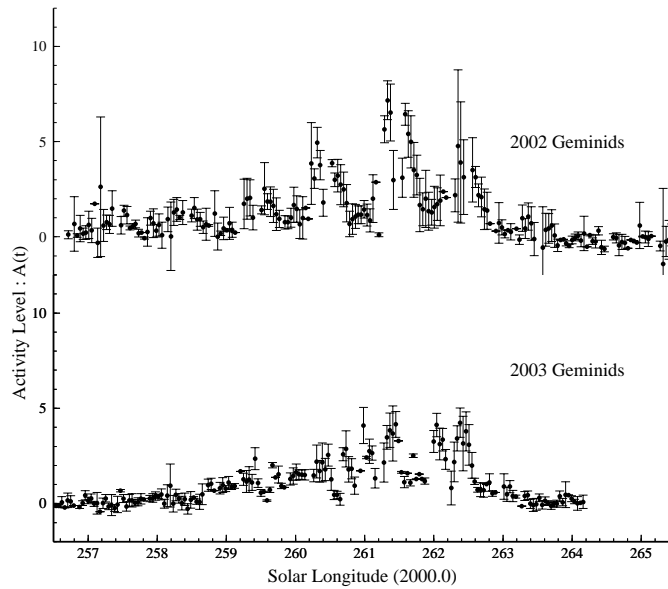


図 4: 2002 年, 2003 年のふたご座流星群

## 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.

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

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

$x, y, z$  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.

図 5 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, ○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 ○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. とはいっ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, 図 6 には, 図 5 でプロットされている流星において, 2 等級以暗の流星のみをマッピングした結果である.

# The Comparison between Video and Radio Meteor Observation

ID: JA2126

RX: University of Tsukuba, Ibaraki, Japan

Height=85-105(km)

Distance(TX-RX)=354 km

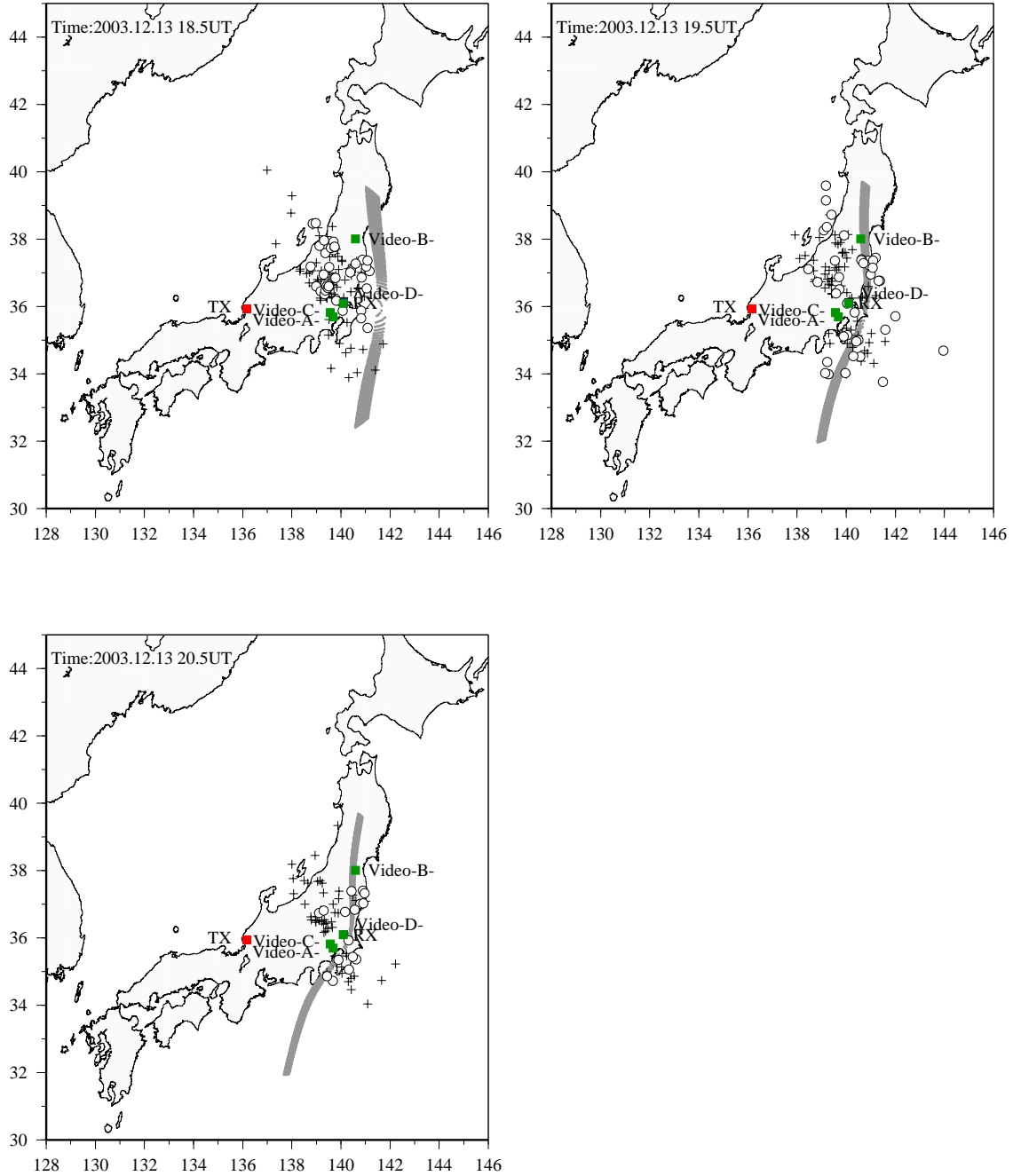


図 5: 流星電波観測 (筑波大学) と光学観測との同定結果

The Comparison between Video and Radio Meteor Observation  
 RX: University of Tsukuba, Ibaraki, Japan

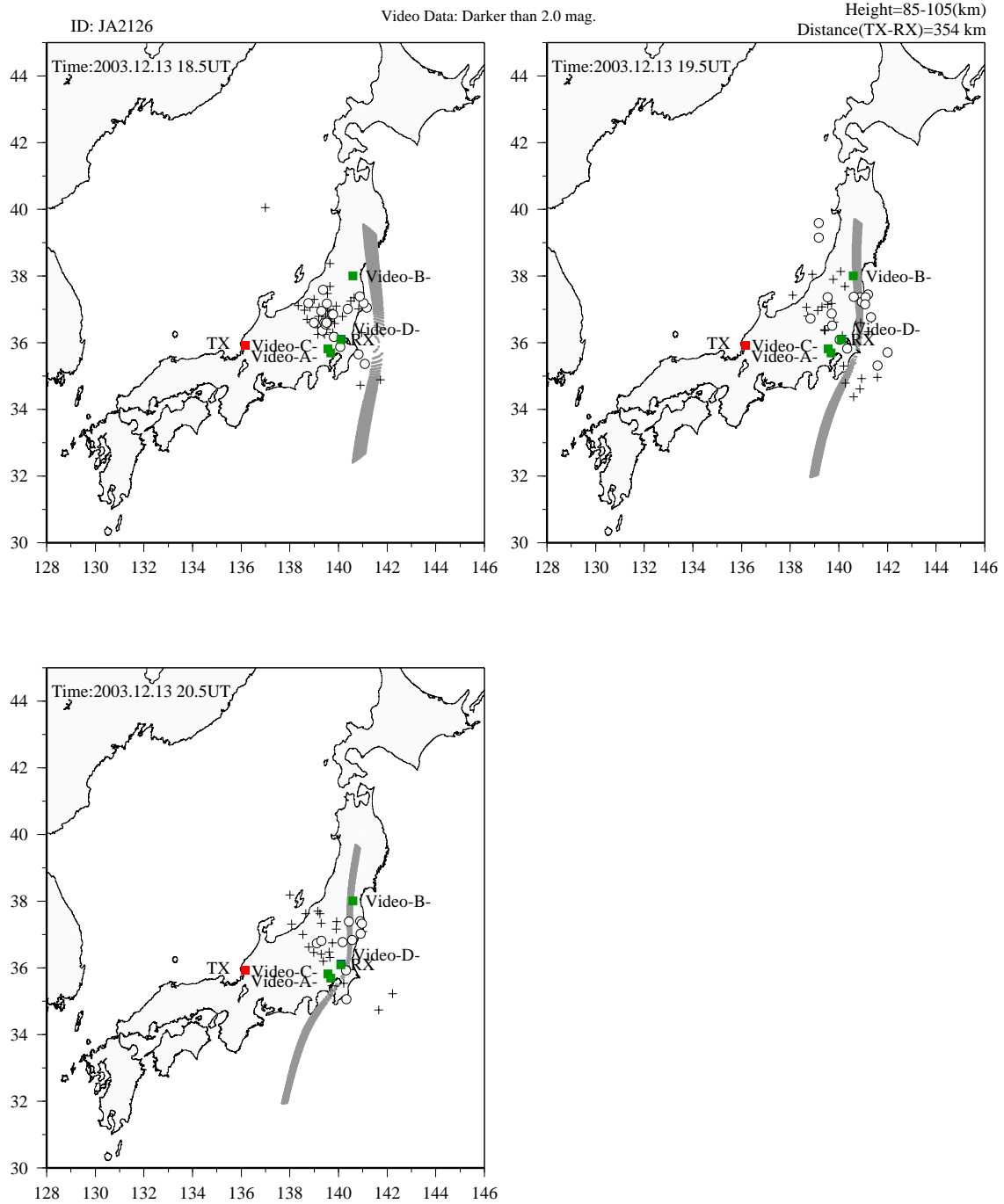


図 6: 図 5 において 2 等級より暗いものをプロットした場合

図6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、図6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。図56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。

## 参考文献

- [1] Ogawa, H., Toyomasu, S., Ohnishi, K., Maegawa, K., 2002: The Leonid 2001 Project by Radio Meteor Observations, *WGN* **30**, 105-109
- [2] Ogawa, H., Toyomasu, S., Ohnishi, K., Amikura, S., Maegawa, K., Jenniskens, P., 2002: The 2002 Leonids as Monitored by the International Project, *WGN*, **30**, 225-231
- [3] Ogawa, H., Toyomasu, S., Ohnishi, K., Maegawa, K., 2001: The global monitor of meteor streams by Radio Meteor Observation all over the world, *Proceeding of the Meteoroids 2001 Conference*, 189-191
- [4] Watanabe, J., 1983: Expected Region of Shower Meteors Detectable by Forward Scattering Method (I), *Radio Meteor Research* **10**, 32-55
- [5] Watanabe, J., 1984: Expected Region of Shower Meteors Detectable by Forward Scattering Method (II), *Radio Meteor Research* **12**, 4-21
- [6] Utsumi, Y., 2003: Simulation for detective field of HRO, *The Institute of Space and Astronautical Science (ISAS) Report SP* **15**, 105-112
- [7] Miyao, K., Ogawa, H., 2003: Research for the Characteristics of Meteor Shower from Multi-Frequency Radio Observation, *International Meteor Conference 2003*