

# MUレーダーと外部受信点との同時電波観測による流星の軌道決定について

## Meteor Orbit Determinations with Multistatic Receivers Using the MU Radar

藤原康徳、濱口佳之、(日本流星研究会、日本天文同好会)

中村卓司(京大生存圏研究所)、堤雅基(国立極地研究所)

阿保真(首都大学東京システムデザイン学部)

Yasunori Fujiwara, Yoshiyuki Hamaguchi (Nippon Meteor Society, JAC)

Takuji Nakamura (RISH, Kyoto University)

Masaki Tsutsumi (National Institute of Polar Research)

Makoto Abo (Tokyo Metropolitan University)

### Abstract

The MU radar of RISH (Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University), which is a MST radar (46.5 MHz, 1 MW peak power), has been successfully applied to meteor studies by using its very high versatility. The system has recently renewed with 25 channel digital receivers which significantly improved the sensitivity and precision of interferometer used in meteor observation. The transmission is now synchronized to GPS signals, and two external receiving sites with a ranging capability has additionally been operated in order to determine the trajectories and speeds of meteoroids.

### 1 はじめに

レーダーによる流星の軌道決定は Kaiser の考案に基づいた Gill と Davies (1956) の方法が広く使われてきた。この方法では、主受信点 (=送信点) と近接した ( $>10$  km) 外部 2 個以上からなる外部受信点とのエコー間の時間差とフレネル振動から求められた速度により流星の軌道が決定される。典型的なフレネル振動が得られる流星は観測流星数の 10% 以下であるので、この方法では全観測流星数のほんのわずかの部分しか軌道を決定することができなかった。Baggaley (1994) は、この方法を改良し、主観測点で流星の反射点をファンビームと干渉計で決定することにより、フレネル振動による速度決定を必要としない流星の軌道決定法を開発した。この方法では従前の方法より多くの軌道を精度よく決定することが可能となり、多くの成果をあげている。この方法

では、エコーの受信時間差を測るために外部観測点と主観測点に無線によるリンクを用いている。我々は、設備が大がかりになるこの無線リンクのかわりに可搬式の GPS を利用したシステムを開発した。この論文では、システムの概要と初期の結果について報告する。

### 2 観測装置

システムの中核となる主たるレーダーは、京都大学の MU レーダー (滋賀県甲賀市信楽町、東経 136.11 度、北緯 34.85 度) である。MU レーダーの仕様を表 1 に示す。MU レーダーは近年 4 c h のアナログ受信機から 25 c h のデジタル受信系に改修された。流星の反射点は角度の 0.5 度の精度で 25ch の干渉計で決定できる。MU レーダーのシステムは GPS により時刻が制御されている。外部受信装置はこの研究のために著者の一人 (

表 1 MU レーダーの観測パラメーター

|   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・周波数 46.5MHz、最大出力 1MW (ピーク)</li> <li>・受信：25 受信機(25 アンテナ)による干渉計</li> <li>・パルス幅：0.9km (16 ビットコンプリメンタリー)</li> <li>・パルス繰り返し周期：2000 <math>\mu</math>秒</li> <li>・コヒーレント積分回数：2回</li> <li>・サンプル距離：70~280km</li> <li>・新開発リアルタイム流星検出ソフト</li> </ul> |
|---|

濱口)により設計され製作された。外部受信装置は GPS 受信機と GPS 受信機からの UTC に同期した 1pps 信号と時刻信号により 2ms の時刻符号付の GPS の時刻に同期したパルスが発生させる装置と 45.6MHz の受信機と計測・記録するパソコンから構成されている (図 1)。受信機の検出出力が閾値を超えて検出されたときに受信信号と 2ms 時刻同期信号が (二つのチャンネルで同期して) AD 変換されてパソコンに記録される。このことによりエコーの時刻を正確に測定することができる。加えて、MU レーダーの送信が GPS の時刻に同期されているので、MU レーダー—反射点—外部受信点の距離の測定も可能である。

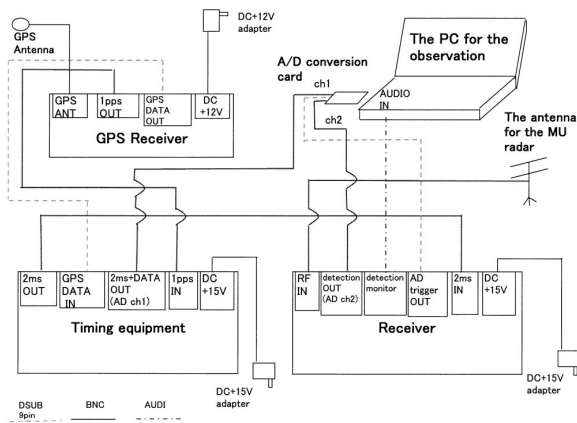


図 1 観測装置

### 3 観測

観測は 2006 年 12 月 14-16 日に実施した。MU レーダーと外部観測点の位置関係を図 2 に示す。外部受信点では 2 素子の八木アンテナ (天頂

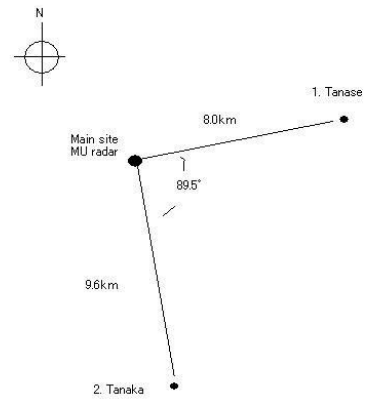


図 2 観測点間の位置関係

向)が用いられた。得られた流星数を表 2 に示す。MU レーダーの流星数は、改良された新 25ch システムにより旧の 4ch での観測より日あたりで 5 倍のエコーを取得できている。外部観測点 2 では外部ノイズレベルが高かったことにより取得できたエコー数が少なかった。エコーの時刻は 1ms 単位で測定された。

### 4 結果

MU レーダーでは 1 日あたり 50,000 個を超える流星エコーが検出されているのに対して外部受信点では約 1,000 個の流星エコーしか検出できていない。外部観測装置の感度が MU レーダーに比べて低いこととエコー検出のトリガーレベルの設定が難しいことが原因として考えられる。MU レーダーで測定されたエコーの反射点と外部受信点との観測時間差より流星の軌道を求める方法は、AMOR、CMOR (Baggaley et al. 1994; Webster et al. 2004; Jones et al. 2005) で用いられている方式を用いた。図 3 に観測されたエコーの例を示す。図 4 に、12 月 14 日に得られた 180 個の輻射点の分布を示す。ふたご座流星群の輻射点の周辺に輻射点の集中があきらかに見とれる。ふたご座流星群の予想輻射点 (赤経 112.3 度、赤

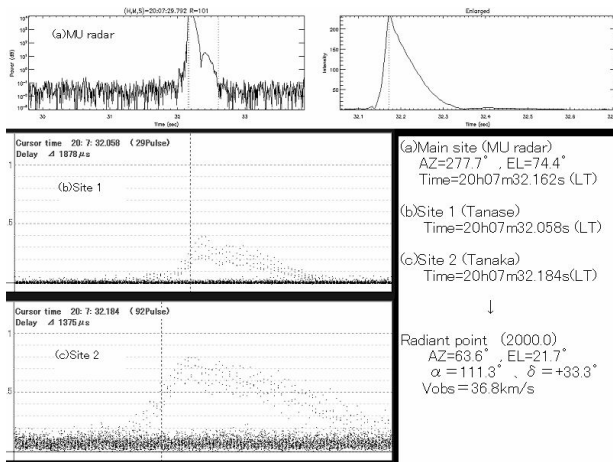
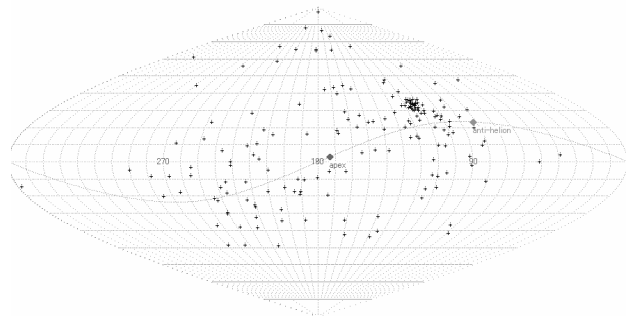


図3 観測例

緯+32.5度、地心速度 35 k m/s (太陽黄経 262.0度) : 天体観測年表 2007 (地人書館) に対して±5度に位置している 33 個の流星の平均輻射点は赤経 114.1 度、赤緯+32.5 度 (太陽黄経 262.4 度)、地心速度は 34.0 k m/s であり、従来の写真観測データとよく一致している。



2006/12/14  
ydec / xra  
aper: sol=0025 12/14

図4 2006年12月14日に観測された180個の流星の輻射点分布 (x : 赤経、y : 赤緯度、中心 : 赤経 180 度。赤緯 0 度)

## 5 サマリーと将来計画

外部観測点用に無線リンクに代わる GPS を利用した可搬性の受信設備を開発し、MU レーダーと組み合わせることにより流星の軌道決定をおこなった。より効率的なデータ解析プログラムと感度の高い新しい外部受信装置を現在開発中である。TV システムとの同時観測により両者で得られた結果を比較し精度検定を実施することを計画している。

表2 観測エコー数

| Data     | MU Radar | site 1(Tanaka) | site 2(Tanase) | N     |
|----------|----------|----------------|----------------|-------|
| 14 (8h)  | >10,000  | 503            | 304            | 189   |
| 15 (24h) | >50,000  | 1,899          | 1,011          | 688   |
| 16(13h)  | >10,000  | 1,059          | 779            | 461   |
| Total    |          | 3,461          | 2,124          | 1,338 |

Data: December 2006, ( ) : 観測時間(hour)

N: 3 点すべてで観測されたエコーの数

## 謝辞

田中利彦さんと田名瀬良一さんには観測場所の提供を受けました。上田昌良さんと嵯峨山亨さんには観測機材の設営・撤収に協力を得ました。司馬康生さんには軌道計算にあたり多くの助言をいただきました。ここに記して感謝します。

## 参考文献

- Baggaley, W. J., Bennett, R. G. T., Steel, D. I. and Taylor, A. D.: 1994, *Q. J. Roy. Astron. Soc.* **35**, 293
- Gill, J. C. and Davies, J. G.: 1956, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **116**, 105
- Jones, J., Brown, P., Ellis, K. J., Webster, A. R., Campbell-Brown, M., Krzeminski, Z. and Weryk, R. J.: 2005, *Planet. Space Sci.* **53**, 413
- Webster, A. R., Brown, P., Jones, J., Ellis, K. J. and Campbell-Brown, M.: 2004, *Atmos. Chem. Phys.* **4**, 679