

流星エコーを用いた大気レーダー・アンテナの位相較正法の試み: (1) Bootstrap 法による相対位相オフセット誤差の補正

寺沢 敏夫 [1]; 宮本 英明 [2]; 中村 卓司 [3]; 吉田 英人 [4]; 臼居 隆志 [5]

[1] 東工大・理・流動機構/物理学専攻; [2] 東大・総合・広域; [3] 京大・生存研; [4] 東大・理・地惑; [5] NMS

Calibration of Atmospheric Radar Antennas with Meteor Echoes: (1) Bootstrap Method for Relative Phase Offset Error Correction

Toshio Terasawa[1]; Hideaki Miyamoto[2]; Takuji Nakamura[3]; Hideto Yoshida[4]; Takashi Usui[5]

[1] Dept. Phys., Tokyo Tech.; [2] General Systems Studies, Univ Tokyo.; [3] RISH, Kyoto Univ.; [4] Department of Earth & Planetary Science, The University of Tokyo; [5] NMS

We will describe a new phase-calibration method of an atmospheric radar antenna array using meteor echoes, in which the following steps are taken:

- (a) Choose a meteor echo whose range is 80-100 km, so that its zenith angle is expected to be less than ~ 30 deg.
- (b) Apply the standard aperture synthesis technique to this echo data, and obtain the estimation of zenith and azimuthal angles.
- (c) Against thus-determined zenith and azimuthal angles, calculate phase offset errors of all the antennas.
- (d) Repeat (a)-(c) for numbers of meteor echoes, and take the averages of the phase offset errors of all the antennas. We regard that these averaged phase offset errors give the best estimations.

What are obtained in the above are *relative* phase offset errors. How to get an estimation of the *absolute* phase offset error is discussed in a related talk by Miyamoto et al.

流星エコーを用いて大気レーダーのアンテナ間の位相オフセット誤差を補正する方法 (以下、単に位相較正法とよぶ) について述べる (研究の背景については [*] 参照)。大気レーダーとして実際に用いているのは京大・信楽 MU 観測所の MU レーダーであり、以下、その観測パラメータに即して述べるが、位相較正法自体は一般的に適用可能である。

MU レーダーの受信には、25 群のサブアレイ (19 組の 3 素子八木アンテナで構成) 全てについてそれぞれ全アンテナを用いる狭角モード (全群送受信時のビーム角度 ~ 3.6 度) と、各サブアレイで 1 組のアンテナのみを用いる広角モード (ビーム角度 \sim 数十度) がある。前者では $25 \times 19 = 475$ 組のアンテナ全てを用いた高感度観測が可能であり、Cyg A などの既知の天体電波源からの信号を用いた位相較正法が実用化されている (たとえば、Palmer et al., Radio Science vol. 31, 147, 1996)。一方、後者の広角モードにおいては、広い立体角 (FOV: field of view) をカバーする 25 素子干渉計を構成して観測が行われるが、天球上の各方向に対する感度は高くないので天体電波源を用いた方法のままでは適用できない (この点については宮本他の関連講演 (2) 参照)。そこで、次の手順による位相較正法を適用したところ、好結果を得た。

(1) 流星エコーのうち、レンジが 80-100km 程度であるものを選び出す (流星の発生高度は限られているので、これらのエコーの天頂角は 30 度以内と見なせる)。

(2) そのように選んだ流星エコーデータを干渉計の標準解析手法 (開口合成法) にしたがって処理し、流星エコーの天頂角・方位角を推定する (ここで、地上の較正手段により、アンテナ間の位相は大雑把には調整済であり、流星エコーが受信可能であるとする)。

(3) この天頂角・方位角の推定値を真の方向と見なし、それに対する各アンテナの位相オフセット誤差の推定値を得る (開口合成法の手続きの特徴から、得られるのは相対位相のオフセット誤差である)。

(4) 多数の流星エコーについて (1)-(3) の手続きを繰り返し、各アンテナについて得られた相対位相のオフセット誤差の平均値を求め、それらがオフセット誤差の最良推定値であると見なす。

(1)-(4) の位相較正法で得られる位相オフセット誤差はあくまでも相対値に対してであって、絶対位相のオフセット誤差は決まらない。後者に対するオフセット誤差推定を得るには別の手法が必要となる。それについては関連講演 (2) で述べる。

[*研究の背景について]: 宇宙線分野のホットなテーマとして、 $10^{19} \sim 10^{20}$ eV の超高エネルギー宇宙線の起源の追求がある。欧米グループによるアルゼンチンのオージェ観測所や、日米グループによるユタの TA 観測所がその最先端であり、 $1000\text{-}3000\text{km}^2$ 程度の範囲に数 km 間隔で粒子計測器を展開し、超高エネルギー宇宙線を捕らえようとしている。問題は粒子フラックスの少なさであり、これらの大面積をもってしても年に数十イベント程度が取得されるのみである。宇宙線起源の天文学的基礎の確立のためには少なくとも 1 桁 \sim 2 桁以上のイベント数増が必要であるが、面積をこれ以上広げるのは予算上きわめて困難であり、新しい観測手段が検討されている。その有力候補が超短波 \sim マイクロ波を用いた電波的観測手段であり、これらの周波数帯の電波の到達距離が長いことを利用して低予算でより広い有効面積を得ることが期待されている。我々は、そのような状況の中で、MU レーダー共同利用研究計画として、宇宙線空気シャワーからのエコー検出の可能性を探る R/D を開始した。宇宙線空気シャワーは高度 10-20km で発生するので、レーダーによるレンジ情報と方向情報 (天頂角、方位角) により、エコー散乱体の高度を求めれば、他の散乱体 (流星、雷放電痕) などの区別ができる筈である。しかし、予想される宇宙線エコーの持続時間は数マイクロ秒程度以下であり、短時間にエコー受信時の方向情報を正確に得るため、受信アンテナ間の位相オフセット誤差を最小化する必要が生じた (通常の MU 運用のため、毎年 1 回すべてのアンテナに対し絶対位相のオフセット誤差の補正作業が行われているが、個々のアンテ

ナの位相補正值は数カ月間に多少変化する場合がある)。そのため、流星エコーを用いた位相オフセット誤差補正法の考案に至った。