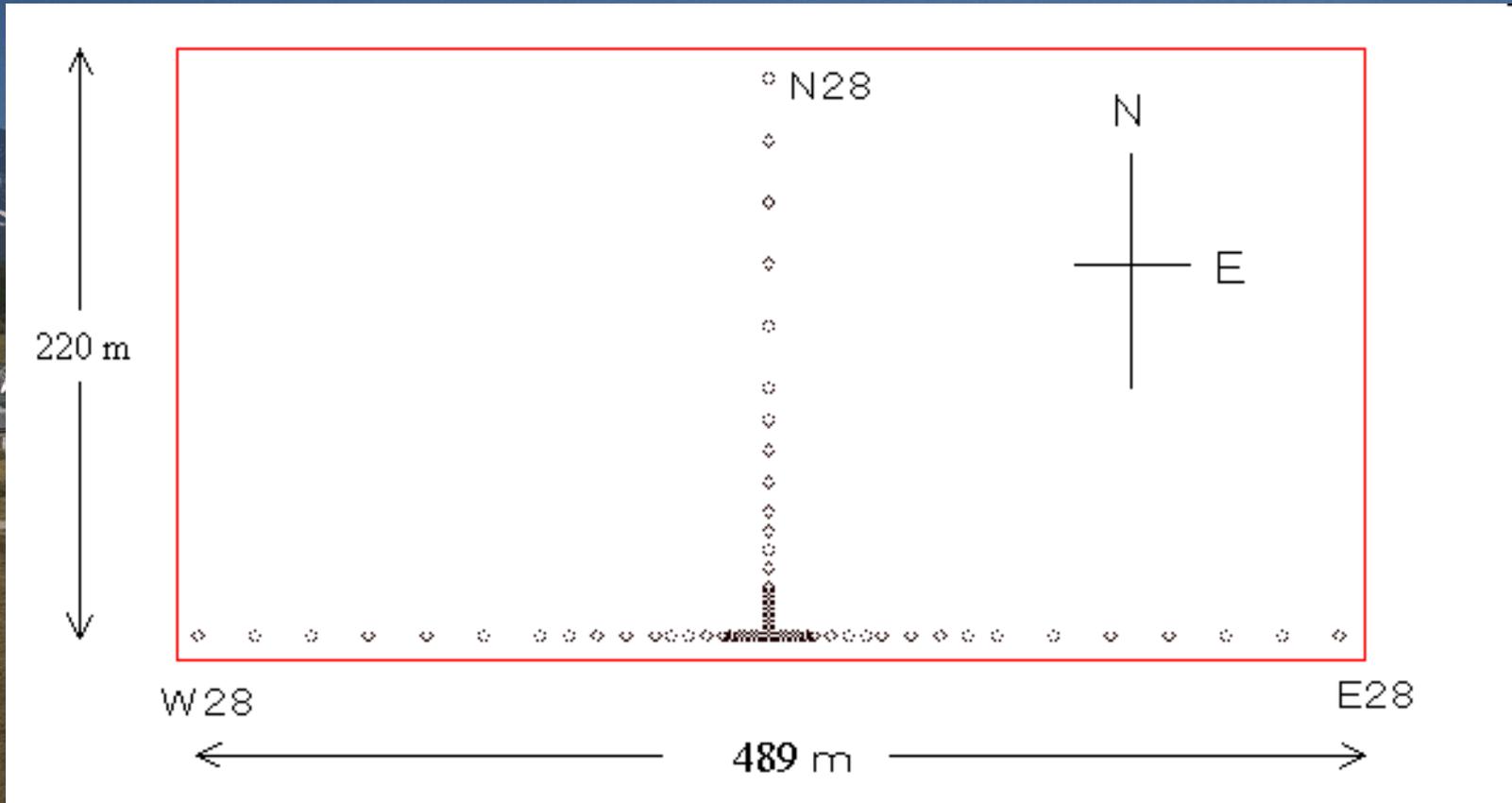


グループ3(その他のテーマ) 干渉計データ解析法

寺沢敏夫(東工大)





野辺山電波ヘリオグラフよくある質問集より

8. アンテナ配列をなぜT字型とするか

二次元像を得るためであるが、天体の二次元像を得る電波干渉計のアンテナ配列としては、T字型のほか、十字型、Y字型、円形、ランダム配列等がある。

T字型: 相関値がx-y値交座標で得られるので、Y字型などに比べると天体像を合成する計算式が格段に簡単になっている。外側ほどアンテナ間隔を広くして、全アンテナ数を大幅に減らす「多重配列」としやすい。円形型では、規則的な多重配列が困難。

十字型: 十字型の1/4を省略したのがT字型であり、解像力の点では、十字とT字は同等であり、T字型が経済的。(シベリア太陽電波望遠鏡(ロシア)は、256基のアンテナを十字型に並べているが、T字型にすれば192基でよい)

Y字型: 相関値が直交座標系では得られないので補間が必要である。地球回転を利用した超合成に適している。

円形型: 上に同じ。限られた土地を有効利用できる。

ランダム配列: アンテナ数を最も少なくし得るが、天体像を合成する計算処理がきわめて繁雑となり、太陽のように複雑な画像を出力するには適していない。

野辺山電波ヘリオグラフよくある質問集より

8. アンテナ配列をなぜT字型とするか

二次元像を得るためであるが、天体の二次元像を得る電波干渉計のアンテナ配列としては、T字型のほか、十字型、Y字型、円形、ランダム配列等がある。

T字型: 相関値がx-y値交座標で得られるので、Y字型などに比べると天体像を合成する計算式が格段に簡単になっている。外側ほどアンテナ間隔を広くして、全アンテナ数を大幅に減らす「多重配列」としやすい。円形型では、規則的な多重配列が困難。

十字型: 十字型の1/4を省略したのがT字型であり、解像力の点では、十字とT字は同等であり、T字型が経済的。(シベリア太陽電波望遠鏡(ロシア)は、256基のアンテナを十字型に並べているが、T字型にすれば192基でよい)

Y字型: 相関値が直交座標系では得られないので補間が必要である。地球回転を利用した超合成に適している。

円形型: 上に同じ。限られた土地を有効利用できる。

ランダム配列: アンテナ数を最も少なくし得るが、天体像を合成する計算処理がきわめて繁雑となり、太陽のように複雑な画像を出力するには適していない。

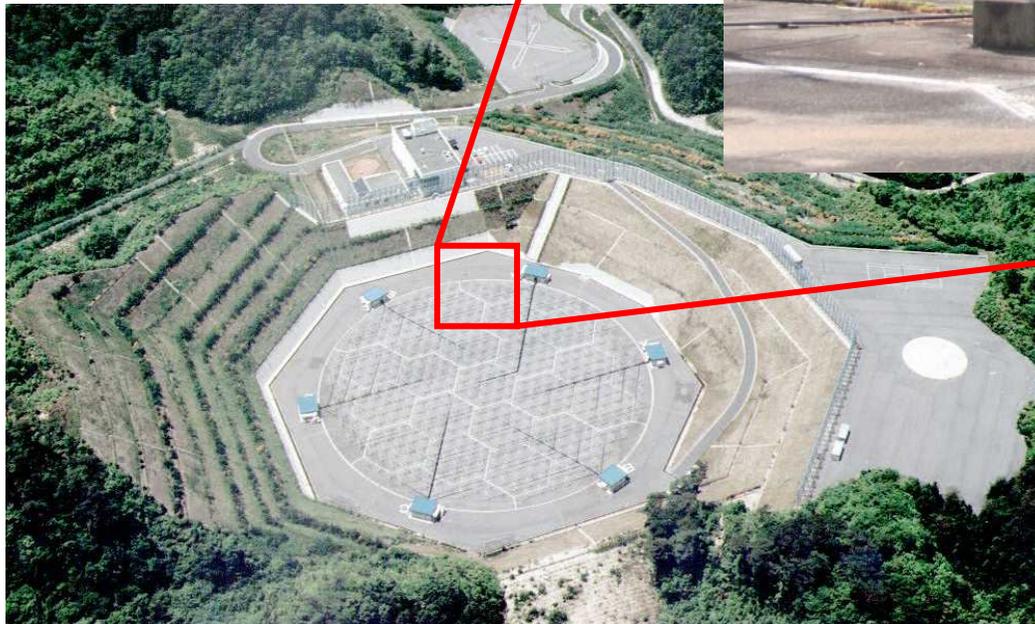
京大信楽MULレーダー



Phase-synthesized array of
475 Yagis antennas,
46.5MHz
peak power: 1MW
Average power: 50 kW

High-power MU radar system at Shigaraki

京大信楽MULレーダー



Phase-synthesized array of
475 Yagis antennas,
46.5MHz
peak power: 1MW
Average power: 50 kW

High-power MU radar system at Shigaraki

京大信楽MULレーダー

MULレーダー

- 本来の目的は中層・超高層大気観測
天体・宇宙物理学的観測への応用
(レーダーとして、あるいは受信部だけを用いて)
 - 北天電波マップ@46.5MHz (Maeda et al., 1999)
 - 太陽系外起源流星(星間空間塵)探索
 - 宇宙線空気シャワーからのレーダーエコー検出?
 - CrabパルサーのGiant pulse検出? Average power: 50 kW
- High-power MU radar system at Shigaraki

京大信楽MULレーダー

MULレーダー

○本来の目的は中層・超高層大気観測
天体・宇宙物理学的観測への応用

(レーダーとして、あるいは受信部だけを用いて)

○ 北天電波マップ@46.5MHz (Maeda et al., 1999)

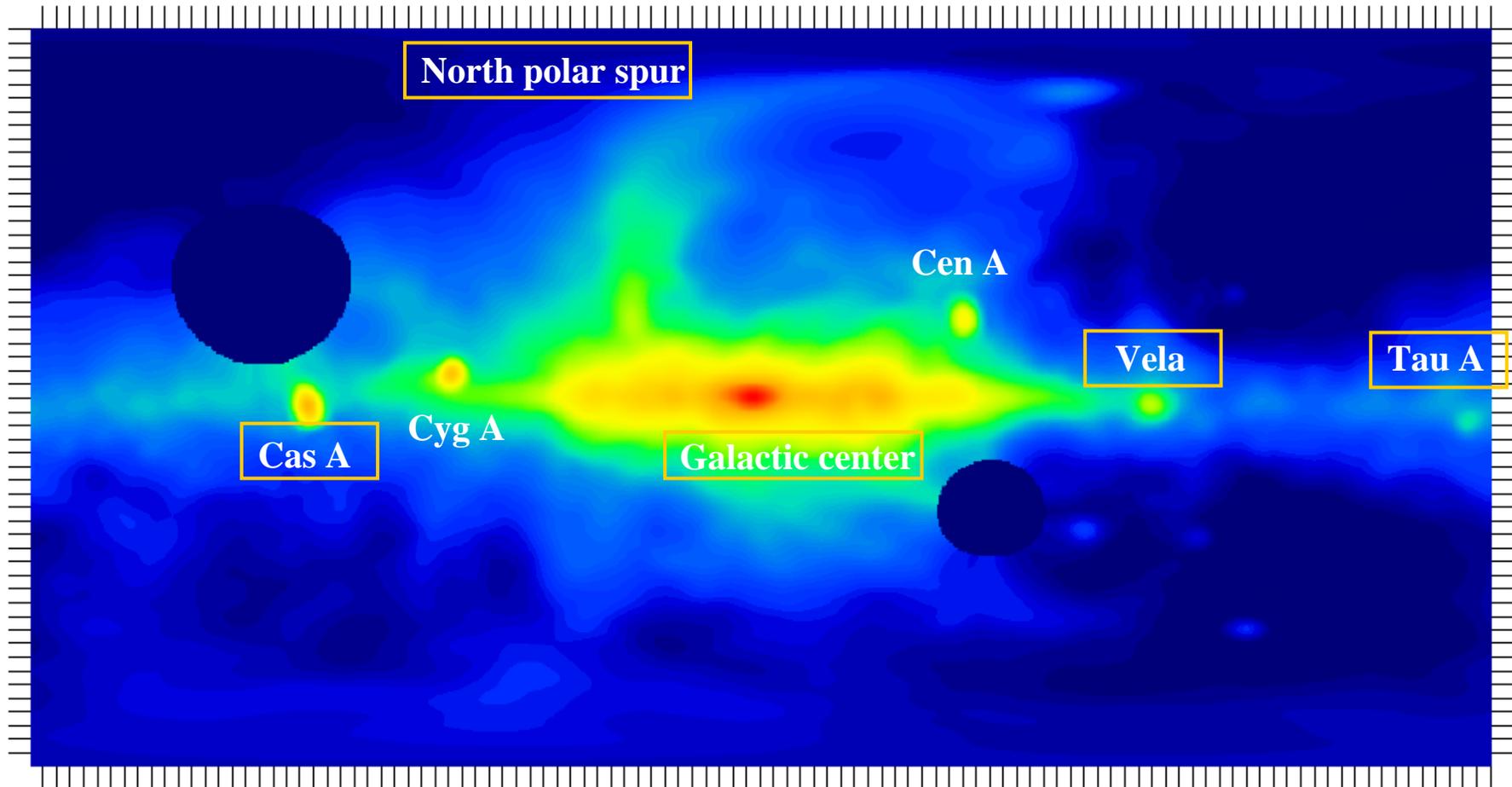
○ 太陽系外起源流星(星間空間塵)探索

○ 宇宙線空気シャワーからのレーダーエコー検出?

○ CrabパルサーのGiant pulse検出? Average power: 50 kW
High-power MU radar system at Shigaraki

信楽46.5MHz+チリ45MHz all sky map (galactic coordinate)

信楽データはMaeda et al. 1999による



銀河面... *synchrotron radiation by CR electrons*

京大信楽MULレーダー

MULレーダー

- 本来の目的は中層・超高層大気観測
天体・宇宙物理学的観測への応用
(レーダーとして、あるいは受信部だけを用いて)
 - 北天電波マップ@46.5MHz (Maeda et al., 1999)
 - 太陽系外起源流星(星間空間塵)探索
 - 宇宙線空気シャワーからのレーダーエコー検出?
 - CrabパルサーのGiant pulse検出? Average power: 50 kW
- High-power MU radar system at Shigaraki

京大信楽MULレーダー

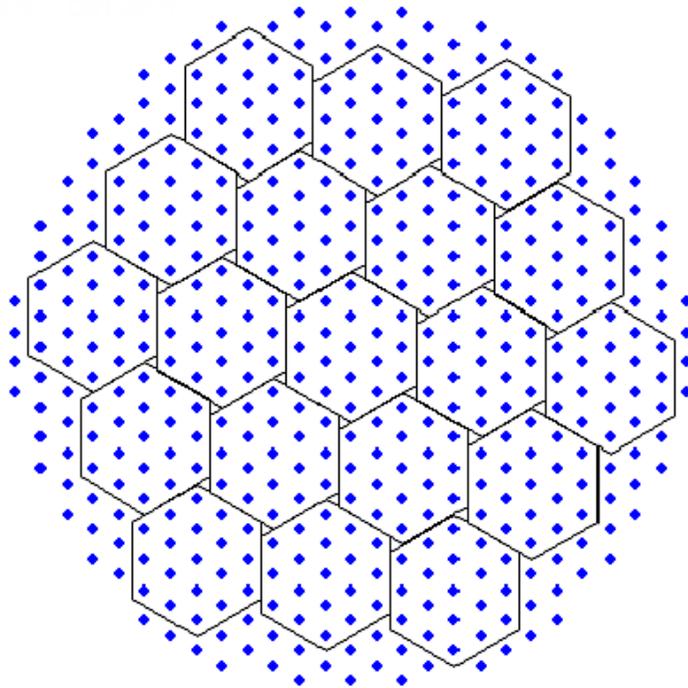
MULレーダー

- 本来の目的は中層・超高層大気観測
天体・宇宙物理学的観測への応用
(レーダーとして、あるいは受信部だけを用いて)
- 北天電波マップ@46.5MHz (Maeda et al., 1999)
- 太陽系外起源流星(星間空間塵)探索
- 宇宙線空気シャワーからのレーダーエコー検出?
- CrabパルサーのGiant pulse検出?

Average power: 50 kW

High-power MU radar system at Shigaraki

京大信楽MULレーダー



アンテナ475本(19本ずつ25グループ)

アンテナ間隔= 0.7λ

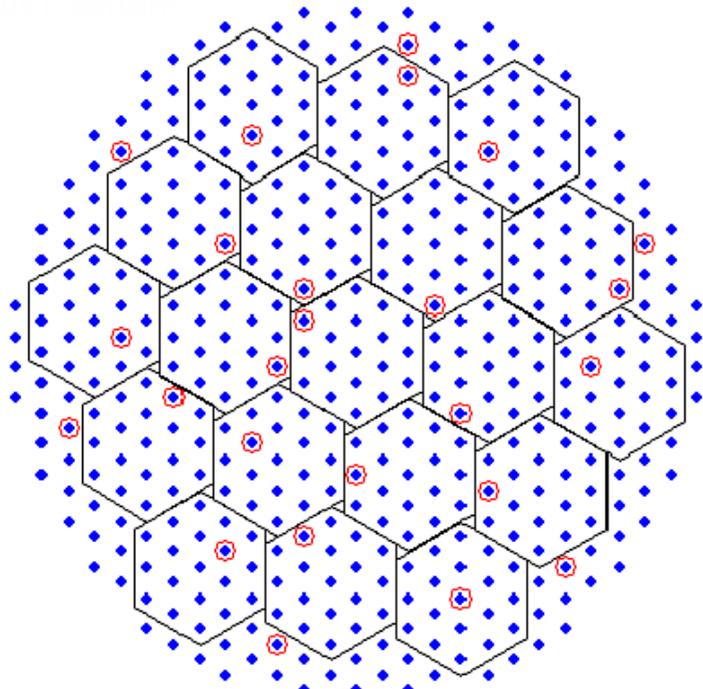
MUの周波数46.5MHz

$\lambda = 6.4\text{m}$

狭角モード
(~ 3.6 度)

全475本のアンテナを送受信とも全て用いる

京大信楽MULレーダー



広角モード
(有効範囲天頂角 ≤ 45 度)

アンテナ475本(19本ずつ25グループ)

アンテナ間隔 $=0.7\lambda$

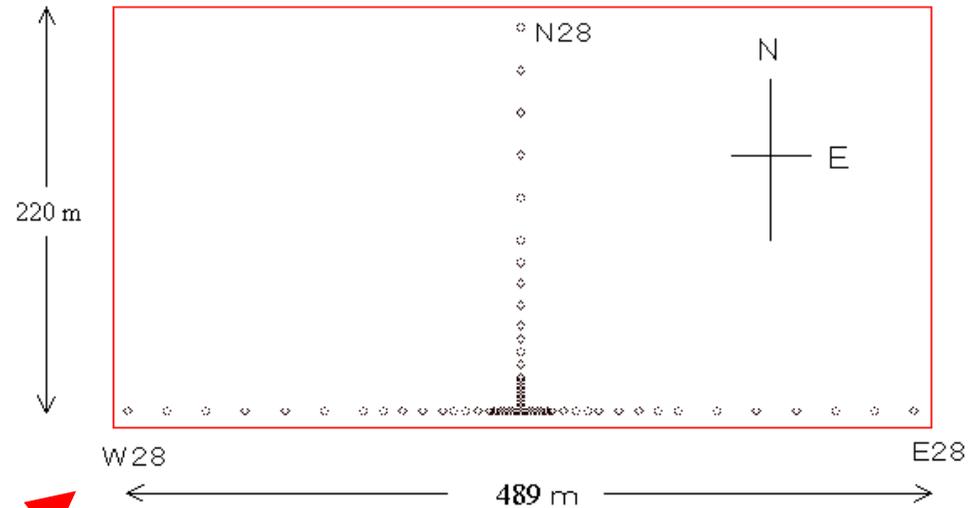
MUの周波数46.5MHz

$\lambda = 6.4\text{m}$

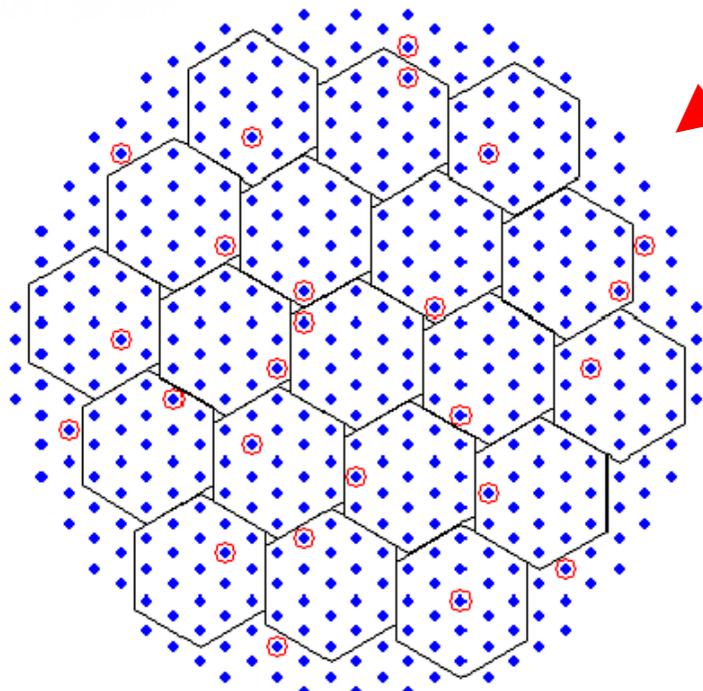
送信には475本のアンテナを用いるが、受信には各群から1つを選び合計25本を使用する(独立な25系統デジタル受信により、観測後に干渉計処理可能)

京大信楽MULレーダー

vs. NoRH



ランダム配列 vs. T字型



広角モード
(有効範囲天頂角 ≤ 45 度)

アンテナ475本(19本ずつ25グループ)

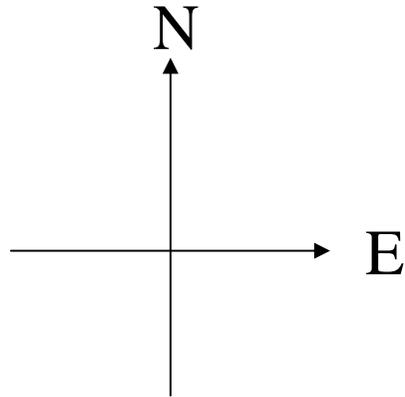
アンテナ間隔 $=0.7\lambda$

MUの周波数46.5MHz

$\lambda = 6.4\text{m}$

送信には475本のアンテナを用いるが、受信には各群から1つを選び合計25本を使用する(独立な25系統デジタル受信により、観測後に干渉計処理可能)

流星エコーの開口合成 (フーリエイメージ) 例1.

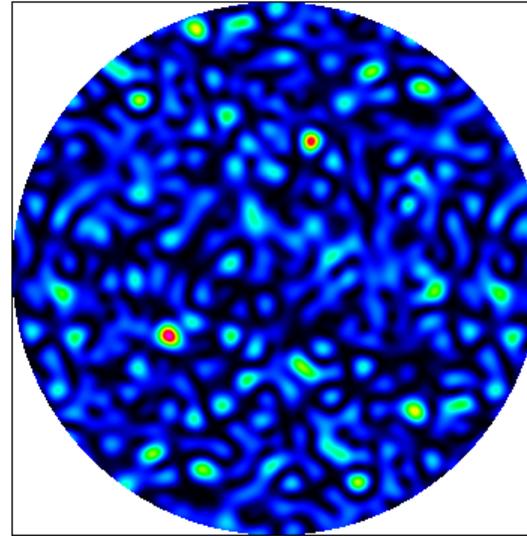


天頂からの距離は天頂角 θ の
 $\sin \theta$ によって表現(範囲0~1)

Before phase error correction

MUI.080616.033604 b=0 nn1=28 nn2=28 (NO phase error correction)
times= : 080616 03 36 17.000 12977.0000000 signal min,max, 2nd peak= 2.58E-004 1.24E+000 1.11E+000

#9

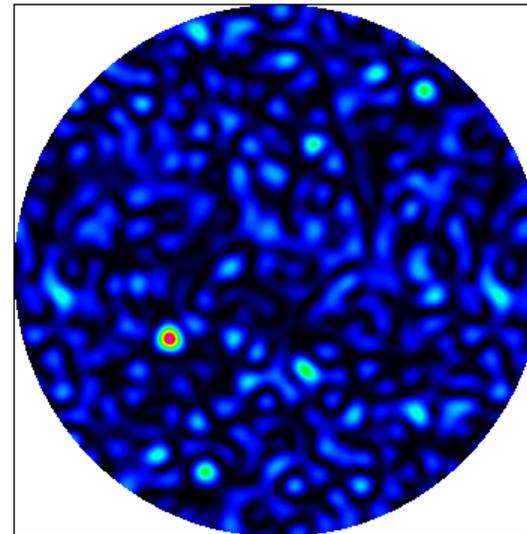


改善

Zen.Anq= 28.50 Hoikaku= 211.90 (Hoi_MU= 238.10) peak= 1.24E+000 2nd peak= 1.11E+000 phase e

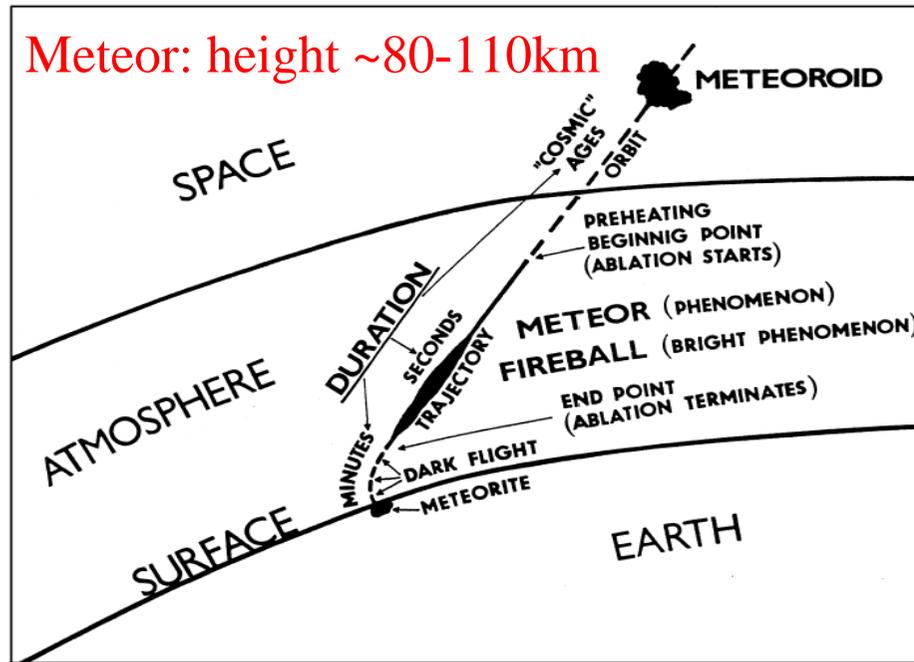
After phase error correction

MUI.080616.033604 b=0 nn1=28 nn2=28 (with phase error correction)
times= : 080616 03 36 17.000 12977.0000000 signal min,max, 2nd peak= 2.77E-004 1.97E+000 9.83E-001

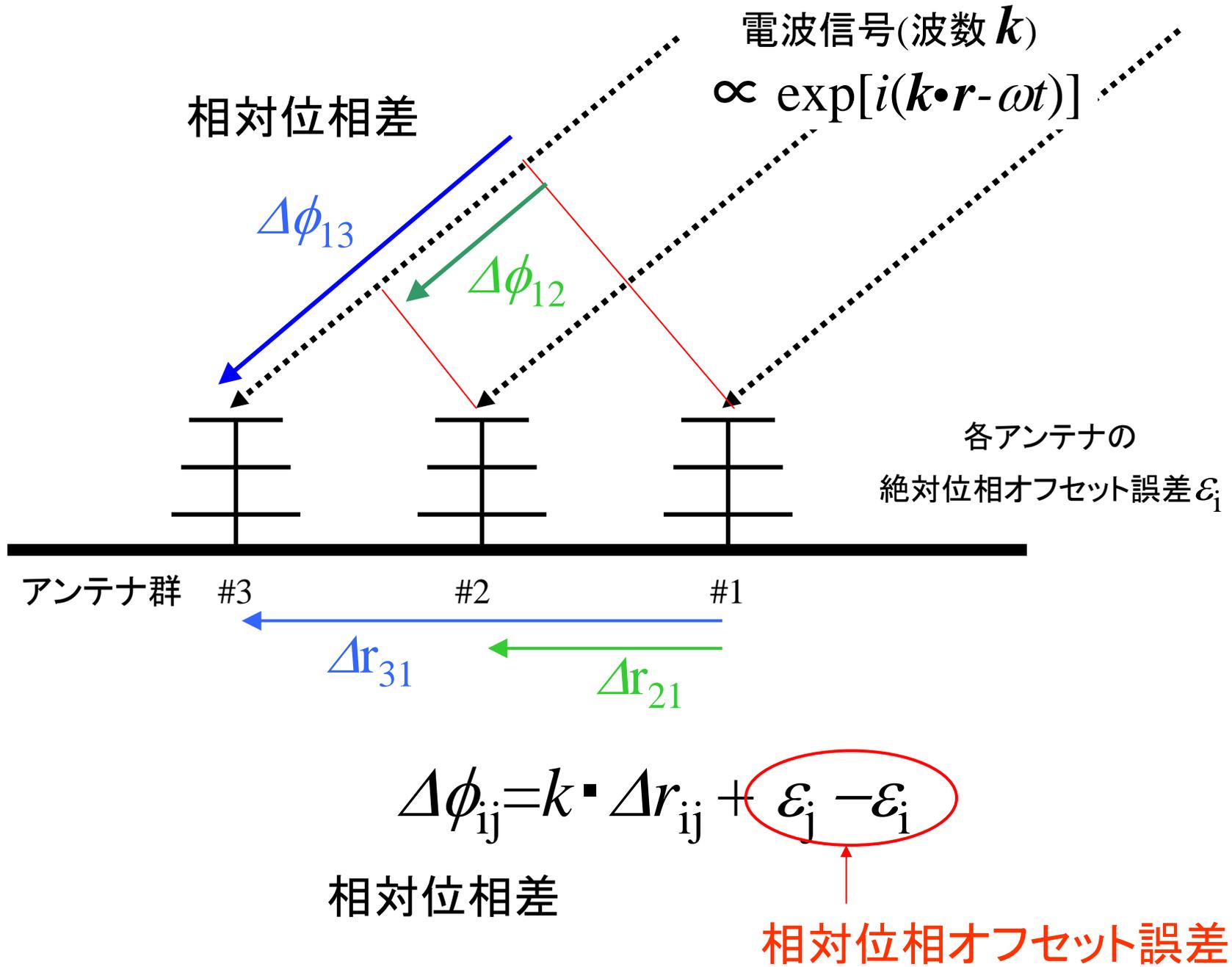


Zen.Anq= 28.81 Hoikaku= 211.54 (Hoi_MU= 238.46) peak= 1.97E+000 2nd peak= 9.83E-001 / WITH phase

流星



$1 \mu\text{g}, 50\text{km/s} \rightarrow 1.25 \text{ J}$



2008/06/16 MU流星モードで
観測された15個の流星エコー

とりにあえず $\varepsilon_i \equiv 0$ として求めた
波数ベクトル

$$\Delta\phi_{ij}^{\text{obs}} - \mathbf{k} \cdot \Delta\mathbf{r}_{ij}$$

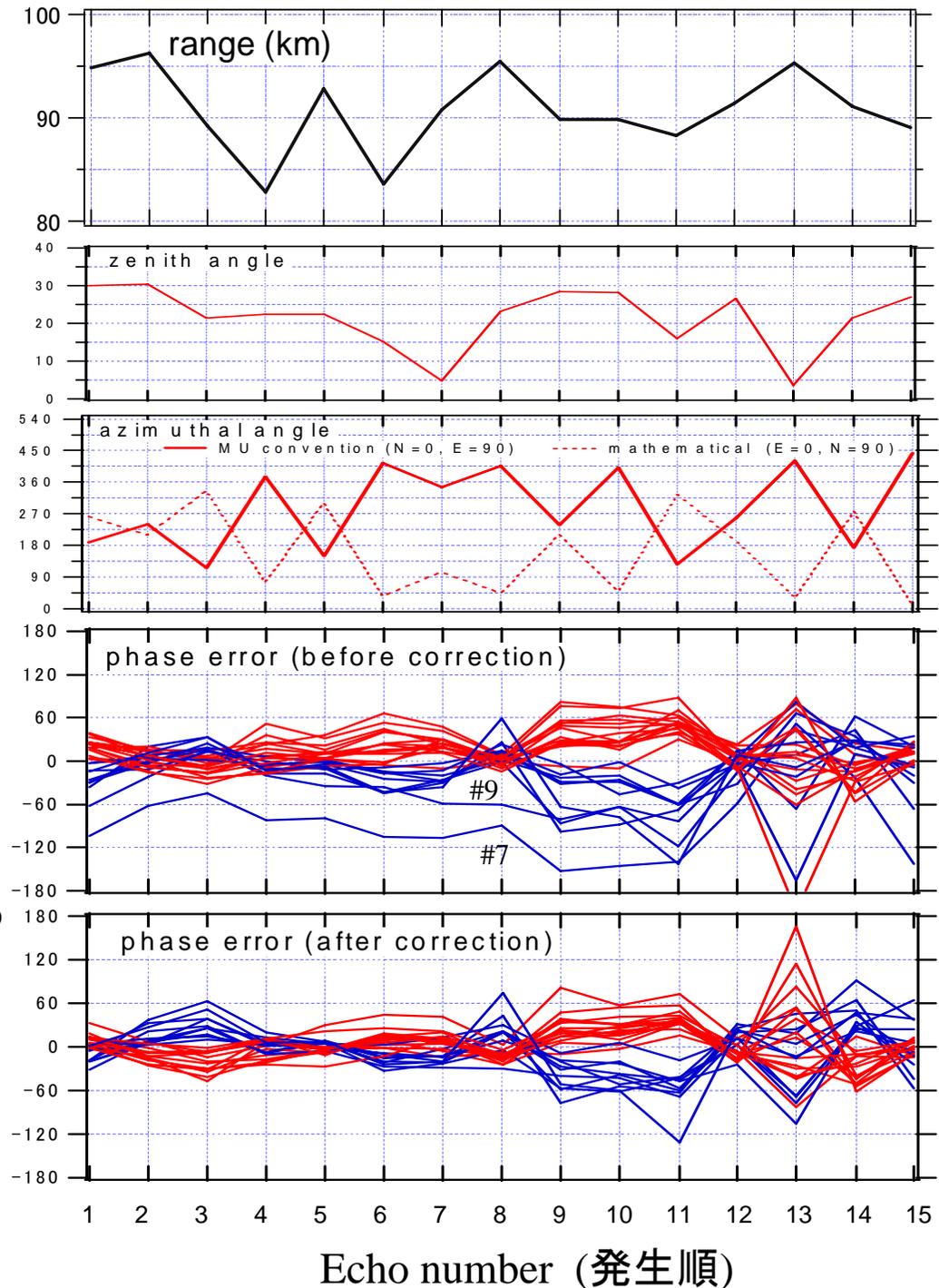
各アンテナの位相誤差 $\varepsilon_i \rightarrow$
(イベント毎)

全イベントの平均をとり、
位相オフセット誤差 ε_i の最良推定値とする

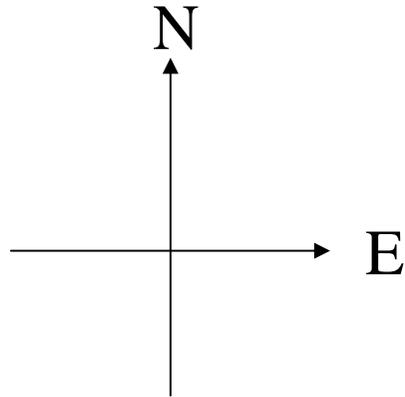
$$\Delta\phi_{ij}^{\text{corr}} - \mathbf{k} \cdot \Delta\mathbf{r}_{ij}$$

位相オフセット誤差
補正済データ

位相オフセット誤差補正済
データを用いて求め直した波
数ベクトル



流星エコーの開口合成 (フーリエイメージ) 例1.



天頂からの距離は天頂角 θ の
 $\sin \theta$ によって表現(範囲0~1)

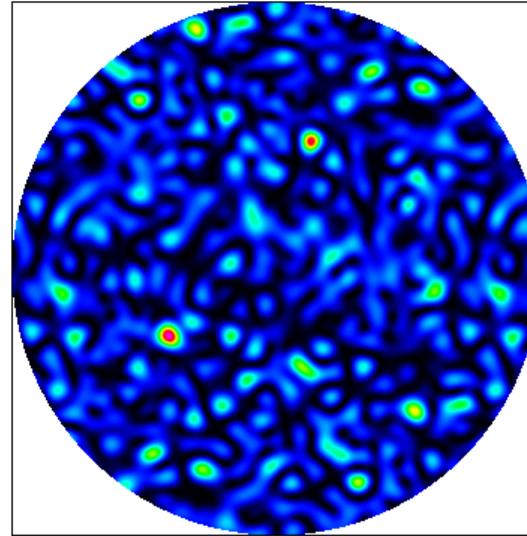
しかしまだnoisy
さらにS/Nを上げるには?

NoRHなど: CLEAN法

Before phase error correction

MUI.080616.033604 b=6 nn1=28 nn2=28 (NO phase error correction)
times= : 080616 03 36 17.000 12977.0000000 signal min,max, 2nd peak= 2.58E-004 1.24E+000 1.11E+000

#9

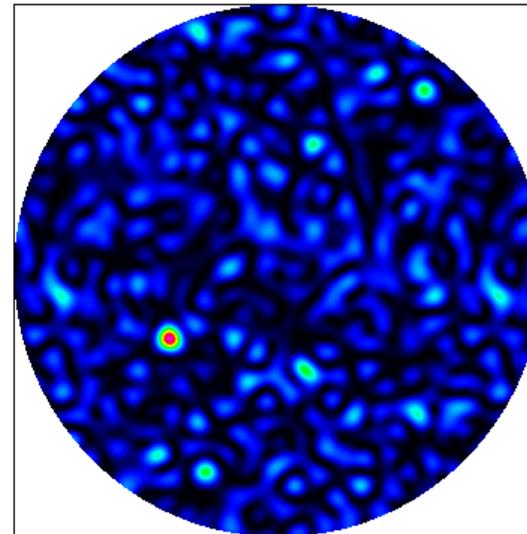


改善

Zen.Ang= 28.50 Hoikaku= 211.90 (Hoi_MU= 238.10) peak= 1.24E+000 2nd peak= 1.11E+000 / phase error

After phase error correction

MUI.080616.033604 b=6 nn1=28 nn2=28 (with phase error correction)
times= : 080616 03 36 17.000 12977.0000000 signal min,max, 2nd peak= 2.77E-004 1.97E+000 9.83E-001



Zen.Ang= 28.81 Hoikaku= 211.54 (Hoi_MU= 238.46) peak= 1.97E+000 2nd peak= 9.83E-001 / WITH phase error

低周波電波天文学は結構ホットな話題である

The Square Kilometre Array

The International Radio Telescope for the 21st Century

<http://www.skatelescope.org/>

日本でもSKAに呼応した活動

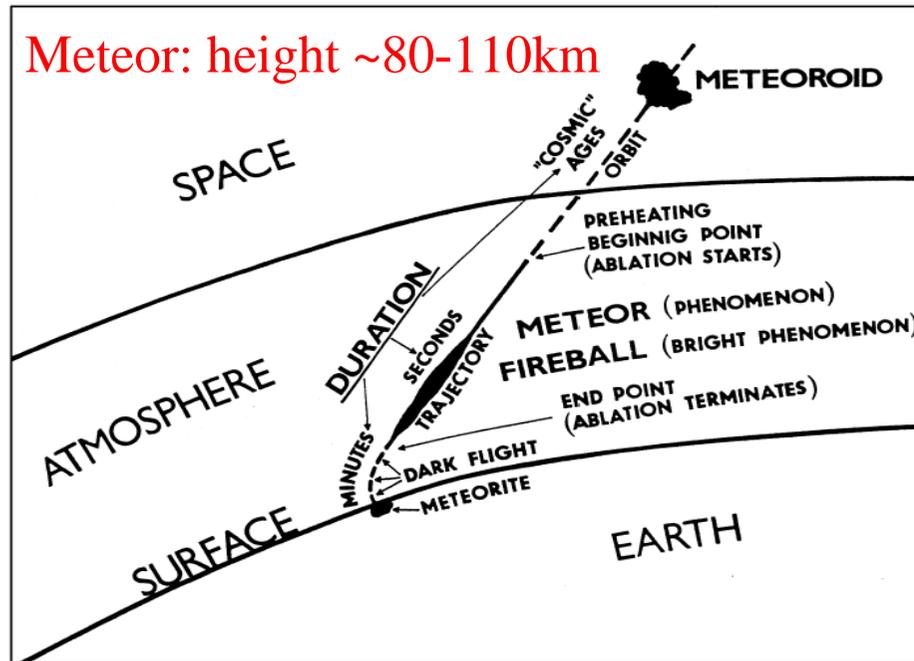
...11/1-2 三鷹にて研究会

↑ MU観測の紹介 中村卓司(京大MU) ...寺沢代読

中心部のphased arrayのみのイラスト

流星 vs. UHECR

星間塵 vs. 素粒子

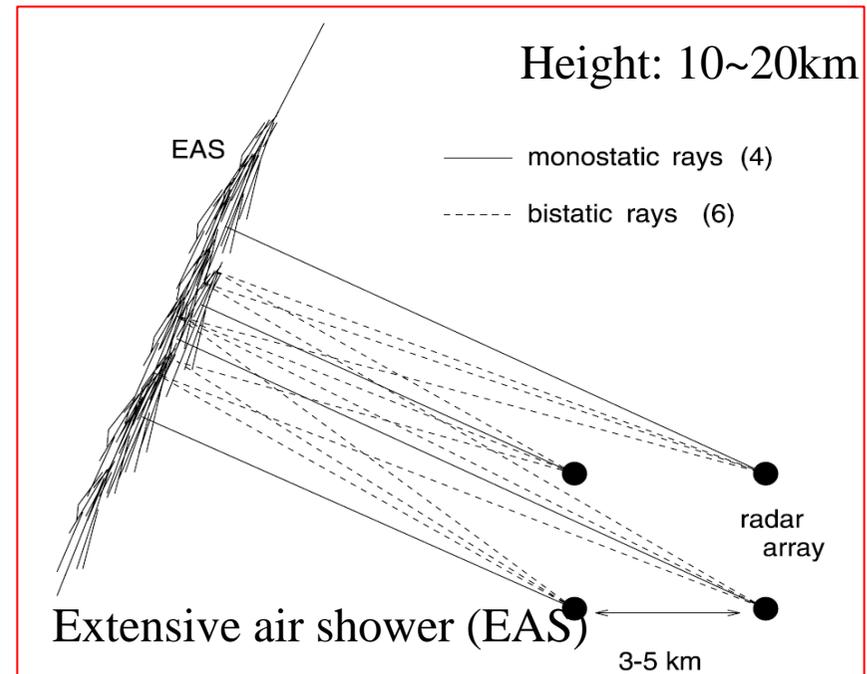


$1 \mu\text{g}, 50\text{km/s} \rightarrow 1.25 \text{ J}$

Similar energy scale (0.1J~10J)

UHECR

(Gorham, 2001)



→大氣中に生成するプラズマ中の電子量はほぼ同じ
(電子の線密度 $10^{10} \sim 10^{14} \text{m}^{-1}$)

流星同様、UHECRもレーダーを用いた観測の可能性

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、²東大総合文化・広域、³京大生存圏、⁴東大理、⁵日本流星研究会

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。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(右図参照)。

●狭角モードでは $25 \times 19 = 475$ 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)。

●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はそ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、以下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。

[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、 $10^{19} \sim 10^{20} \text{eV}$ 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～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～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、こ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 $10\text{-}20 \text{km}$ 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)などと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。