

ふたご座流星群における反射領域の考察 (HROとFROの違い)

2022年1月23日

小川 宏 (h-ogawa@amro-net.jp)

背景

- 流星電波観測において、放射点が天頂付近を通る際に、エコー数が減少する「天頂効果」は幅広く知られている。
- ふたご座流星群やしぶんぎ座流星群では顕著にみられる。特にふたご座流星群では、天頂付近を通る時間帯に急激にエコー数が落ちる。
- ふたご座流星群の場合、HROでは1時(JST)~2時(JST)頃にその現象が見られる。
- 一方でFROの観測結果では、天頂効果の時間帯が長い。
 - 放射点が昇った後、エコー数が急激に伸びるが夜半前には落ち込む。
 - サイトにもよるが、天頂効果から戻ってくる時間がHROよりも遅い。

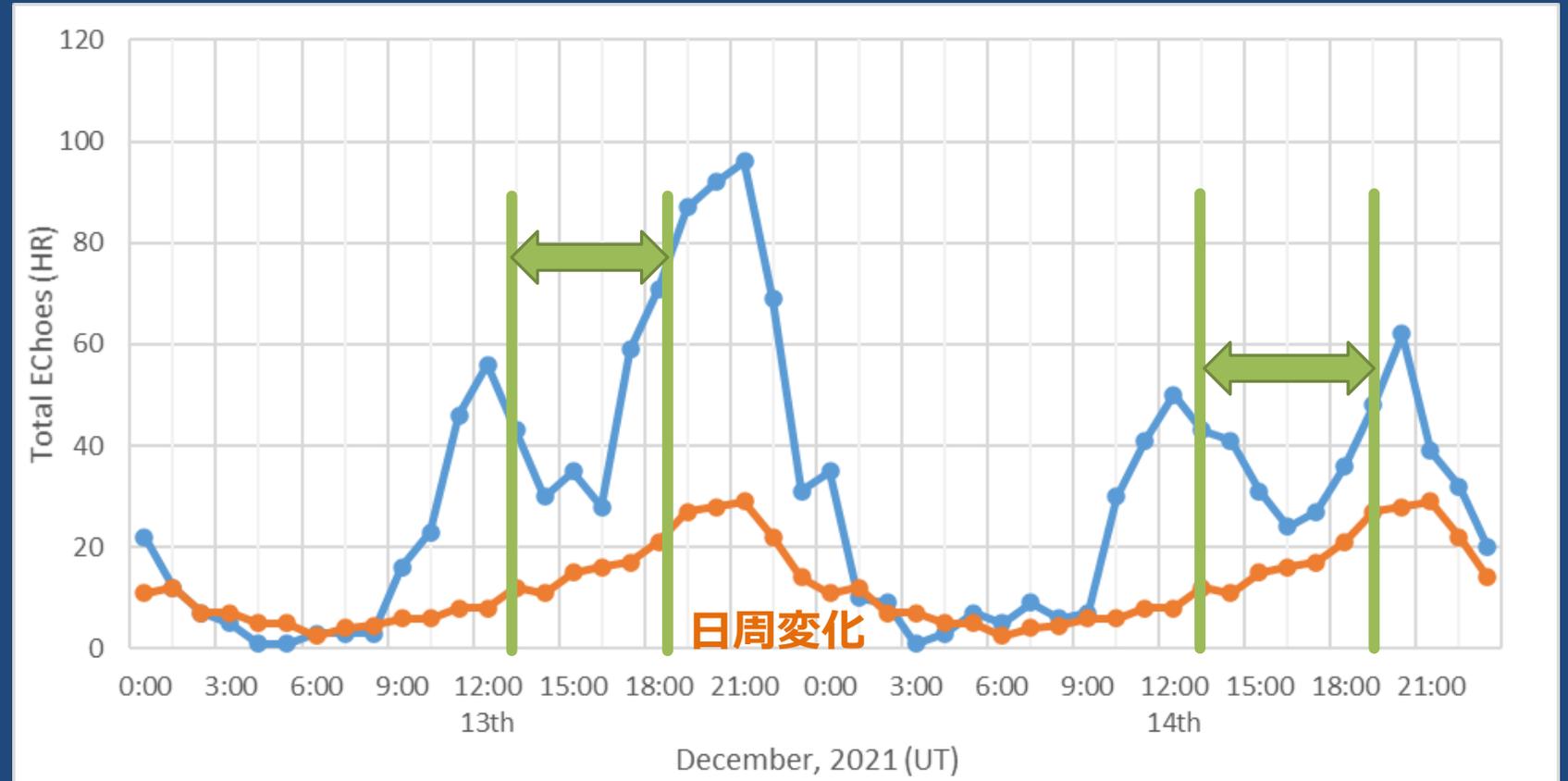
⇒ 今回はFROとHROの反射領域を比較し、その原因を考察する。

HROでの天頂効果

- 四日市（藤戸様）におけるHROの日周変化とふたご座流星群ピーク頃
- アンテナは2el. 天頂向き

- 天頂効果の時間

- 22h~03h頃(JST)
⇒6時間

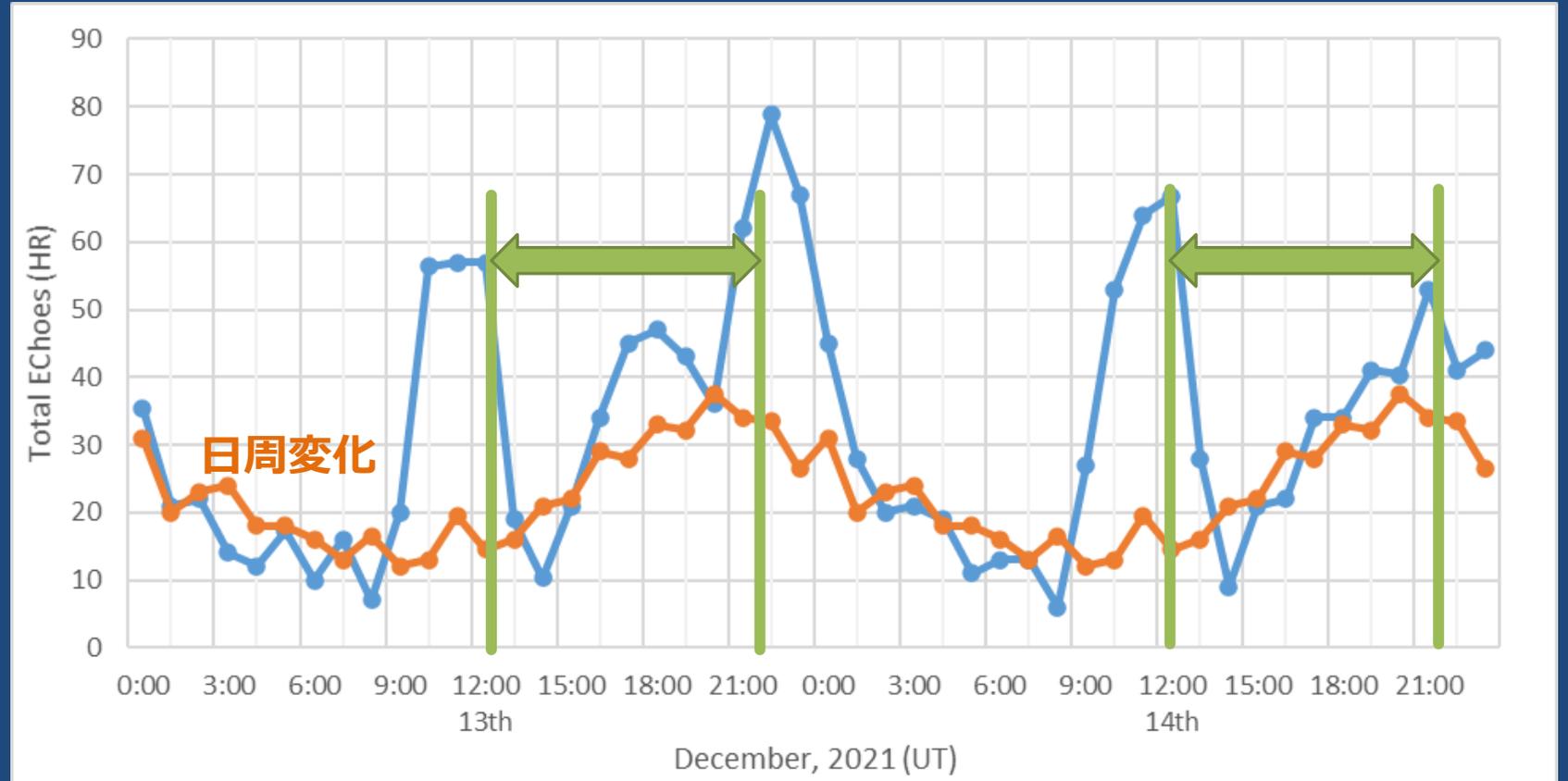


FROでの天頂効果

- つくば (92.5MHz) における日周変化とふたご座流星群ピーク頃
- アンテナ4el. 水平西向き

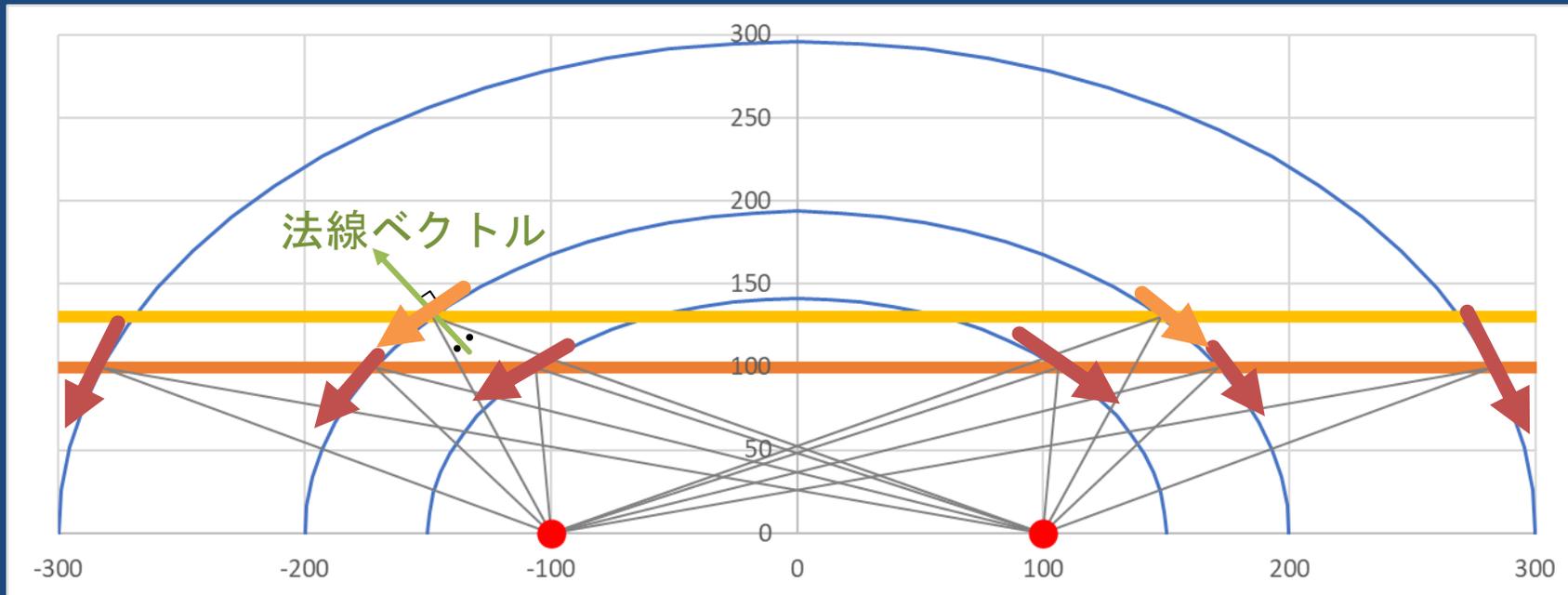
- 天頂効果の時間

- 21h~6h頃(JST)
⇒10時間



天頂効果について

- アンダーデンスエコーを前提とする。
- 流星が作る電離柱に対し、入射角 = 反射角が成立する。
- 入射角 = 反射角が成立するのは送受信局を焦点とする、楕円体上に存在する。
- 受信局から電離柱までの距離は放射点が高くなると、無限大に発散する。
- 流星ベクトルと楕円の法線ベクトルの内積は0になる。



<発光高度を固定>

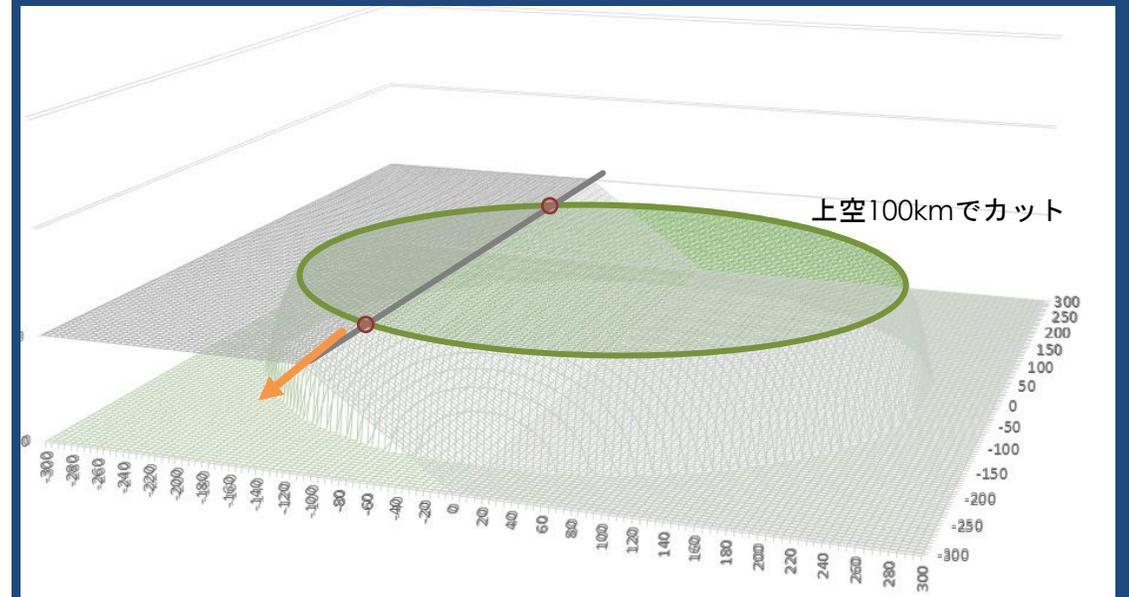
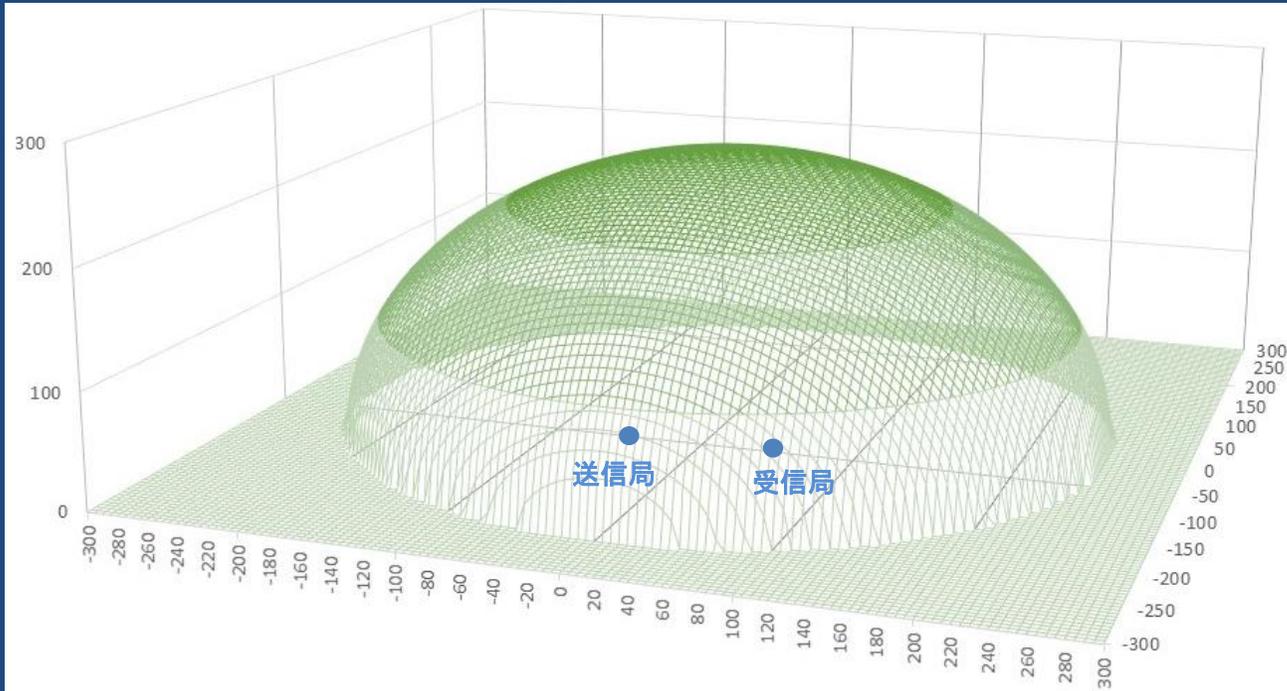
- ・楕円体の長半径を長くすると…
⇒100kmとの接点は遠くなる
⇒放射点高度が高くなる

<楕円の長半径を固定>

- ・発光高度を高くすると…
⇒接点は近くなる
⇒放射点高度が低くなる

反射領域の考え方

- 先の考えを三次元で考える。
- 入射角 = 反射角を満たす点は送受信局を焦点とする回転楕円体上に位置する。
- 流星ベクトルと回転楕円体の法線ベクトルとの内積が0になる点を求めると、ある長半径に対し、接点は正負2か所存在する。
- その接点は、流星の放射点高度と方位角に依存する。
- 反射領域を計算する際はまずはx軸上に送受信局があるとして、そこから座標変換で最終的に緯度経度で表現している。



反射領域（ふたご座流星群）

○ふたご座流星群（送信局：福井、受信局：四日市）

○時間と共に反射領域が動く。

○放射点高度が0度だと中間。

○南中前：西へ遠ざかる

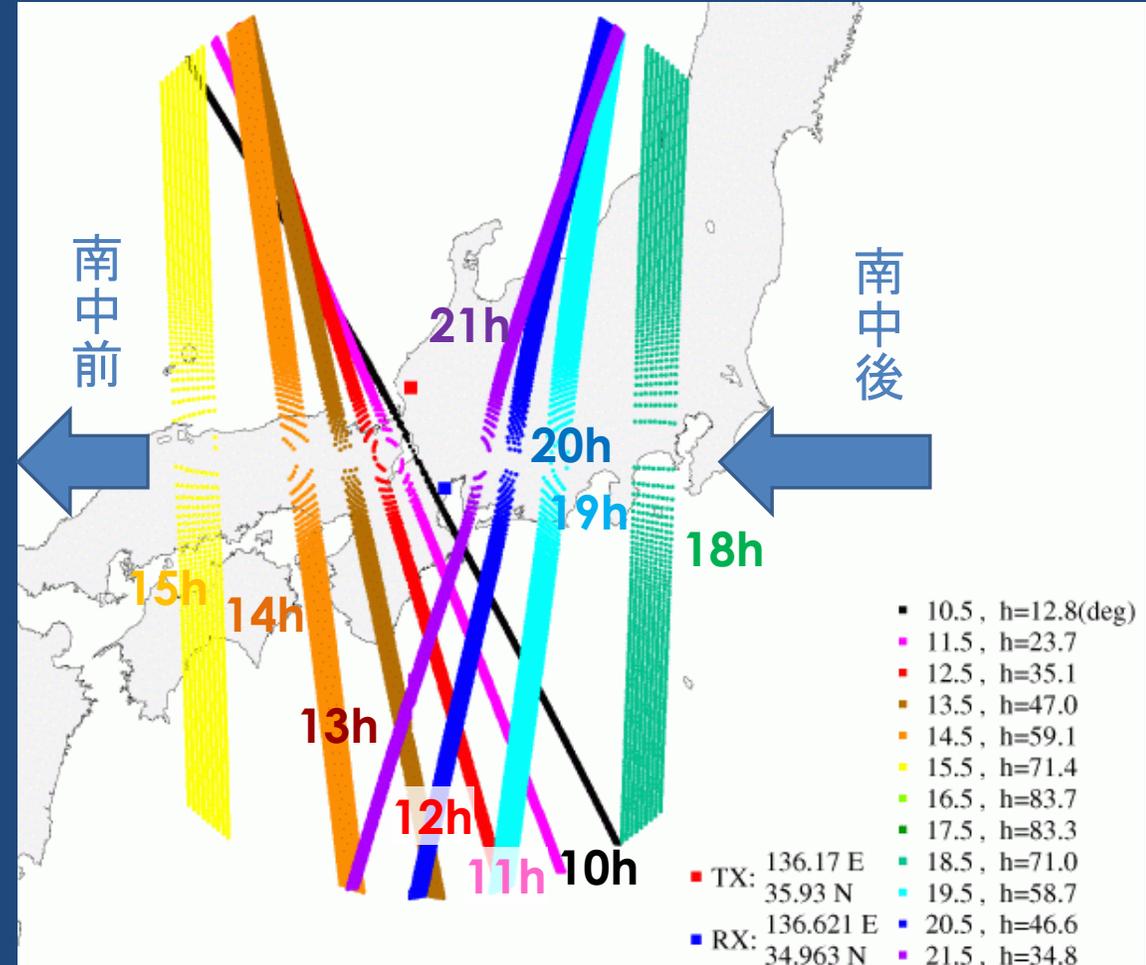
○南中後：東から近づく

○サイトによって形状は異なる

○送受信点を焦点とするため

○流星群によって形状が異なる

○放射点位置（方位角）が異なるため



反射領域を計算するにあたって考慮すること

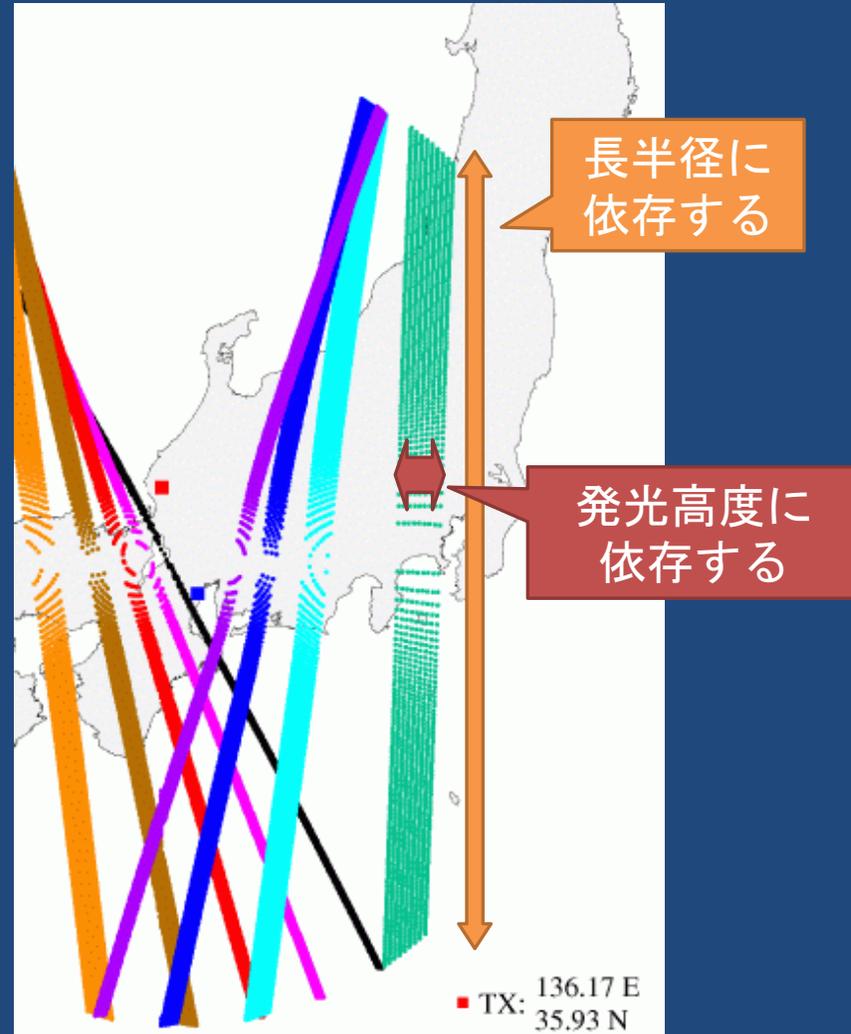
○ パラメータ (変数)

- 長半径 = 最大1000km
- 発光高度 = 85km-105km



○ 不確定要素

- 長半径をどうするか？
- 発光高度をどうするか？



発光高度について (Ceiling Height)

- 電波の周波数、対地速度によって上限高度(Ceiling Height)が存在。
- 上限高度の時の流星の等級も求めることができる。
- ふたご座流星群の場合は上限が約100kmで53MHzの場合は7等級に相当。
- アンダーデンスエコーとオーバーデンスエコーの境界はおよそ90kmで、約5等級に相当。
- あくまで反射領域計算はこの範囲のアンダーデンスエコーが中心。
- オーバーデンスエコーについては、この限りではないため、天頂効果時間帯でもエコーが受信されるケースのほとんどはオーバーデンスエコーによるものと考えられる。

	対地速度	28MHz	53MHz	113MHz	144MHz
Capricornids やぎ	23 km/s	104.0km 14mag.	97.0km 10mag.	89.9km 6mag.	88.2km 5mag.
Geminids ふたご	35 km/s	106.9km 11mag.	99.8km 7mag.	92.8km 3mag.	91.0km 2mag.
Quadrantids しぶんぎ	41 km/s	108.2km 10mag.	101.1km 6mag.	94.1km 2mag.	92.3km 1mag.
Lyrids こと	49 km/s	108.1km 8mag.	102.8km 5mag.	95.8km 1mag.	92.3km -1mag.
Perseids ペルセウス	59 km/s	109.9km 7mag.	104.7km 4mag.	95.9km -1mag.	94.1km -2mag.
Leonids しし	71 km/s	111.8km 6mag.	104.7km 2mag.	97.7km -2mag.	95.9km -3mag.

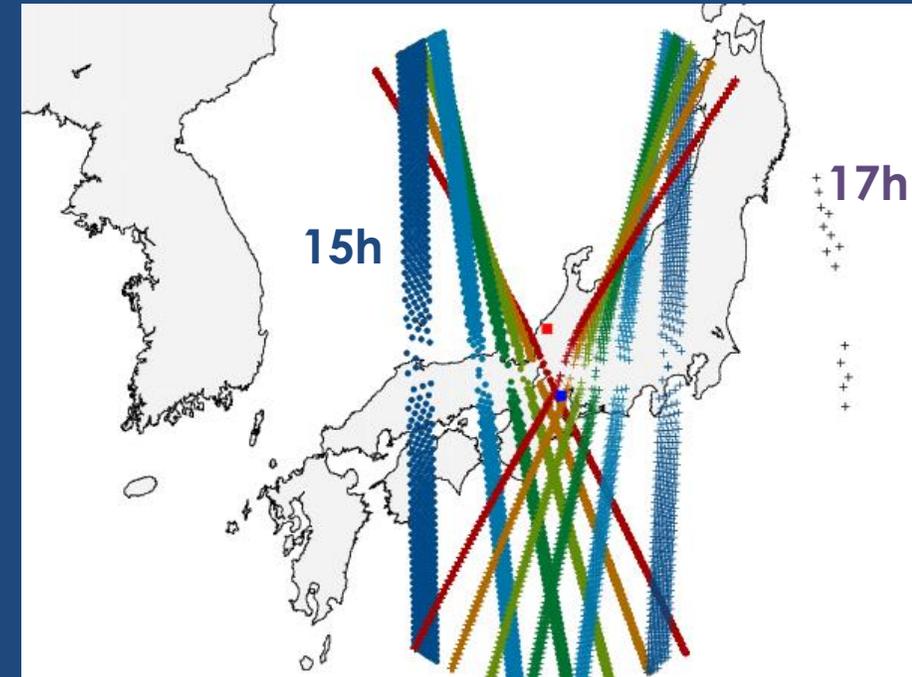
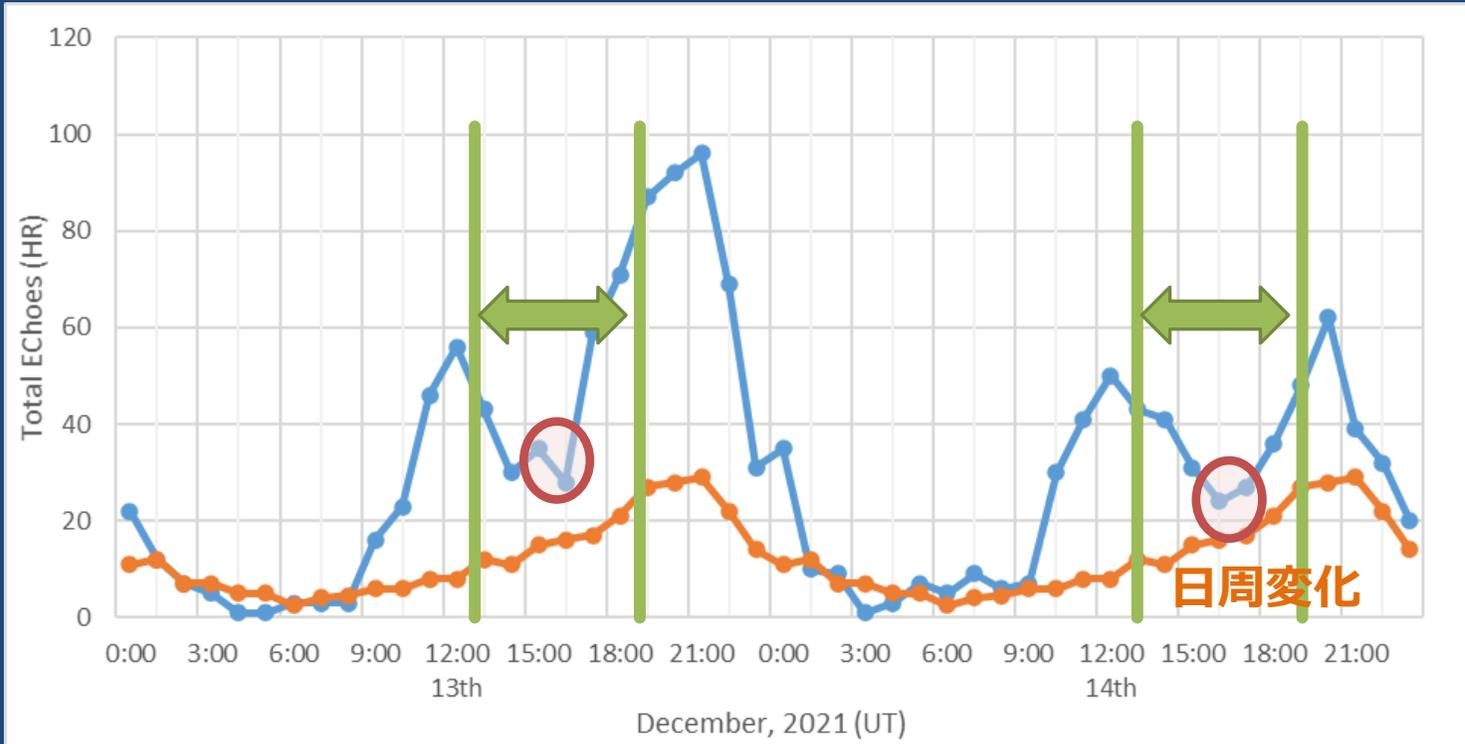
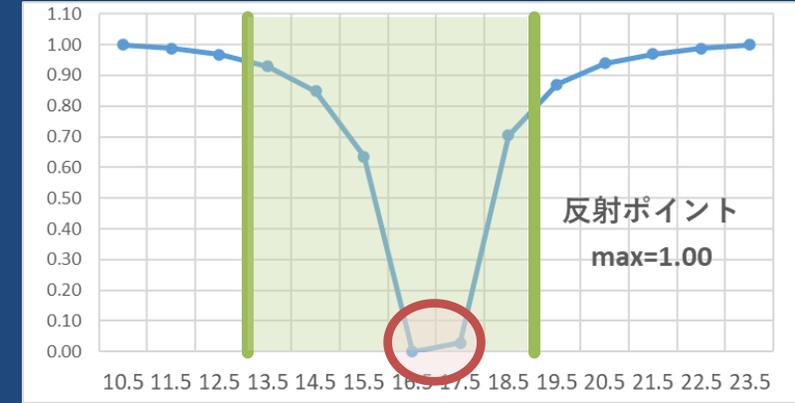
受信限度を信号強度の損失が40dBとなる高度とそれに対応する等級 (K.Miyao 2004)

長半径について（経路長の上限）

- 送信局⇒電離柱⇒受信局 の距離（経路長）をどこでカットするか。
 - 過去の論文では1000kmと置くケースが多い。
 - 今回もまずはそれで考えてみる。
- ※過去、長半径の上限を定めていたが、経路長の上限の方がよいと判断。
今回は、経路長を計算して1000kmでカット。
- ※さらに今回はExcelで計算している都合上10kmずつステップアップしているが、本当はステップアップ間隔を短くして積分すれば面積になる。

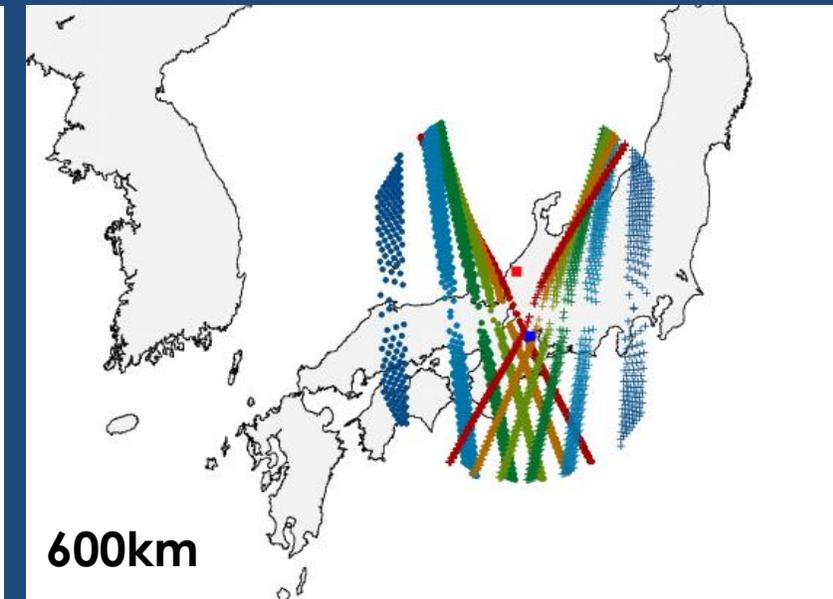
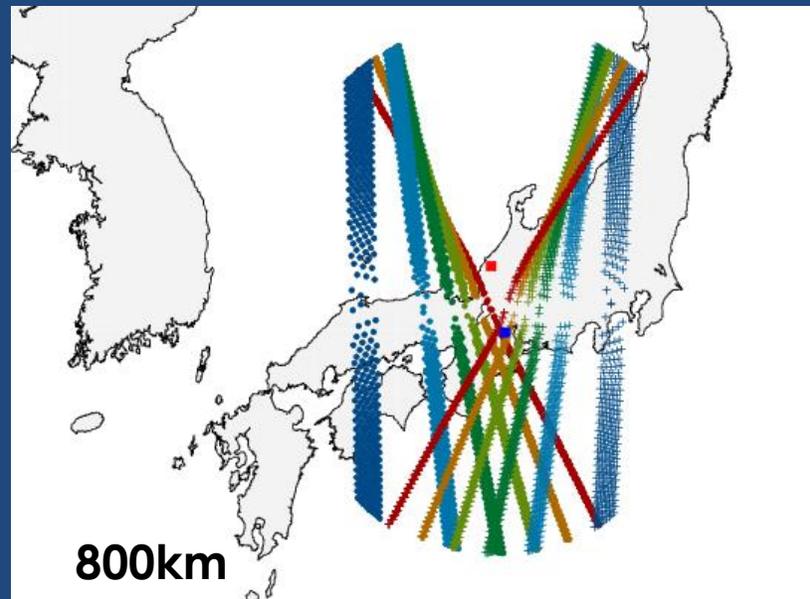
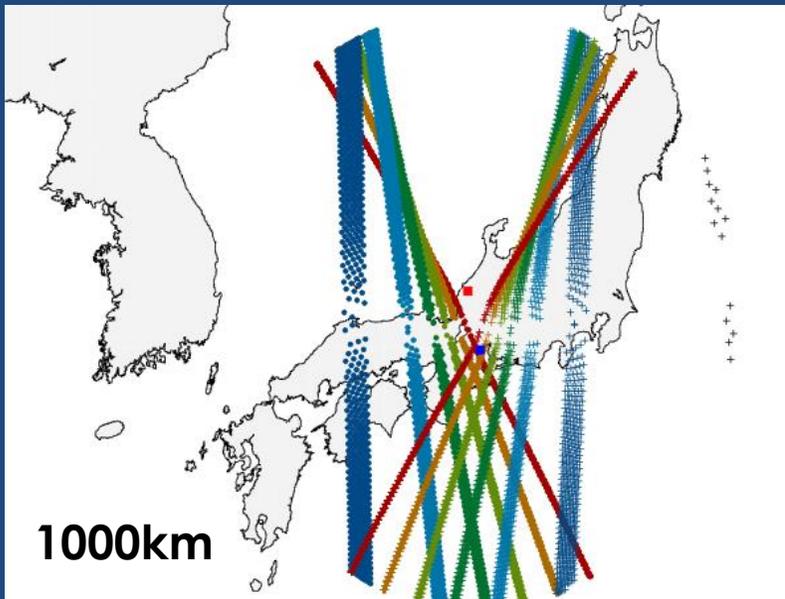
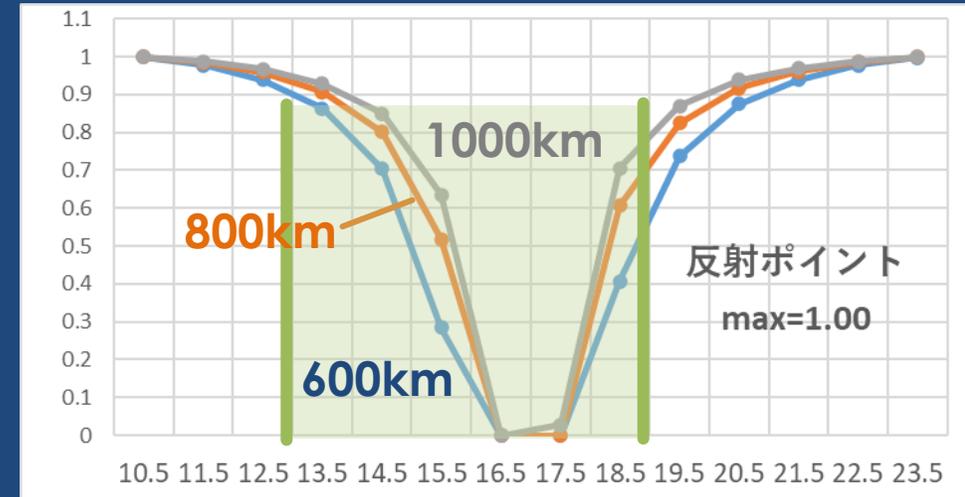
ふたご座流星群の結果（四日市：藤戸様）

- シミュレーションでは15時UTまではあるが、**16時はない。17時もわずか。**
- 反射ポイント数は**14時頃から急激に減少**する
- 実際の観測結果からすると、天頂効果の幅はもう少し広いと思われる。
⇒つまり、**経路長1000kmでは長すぎ**？
※アンテナや設置環境の影響もあるので一概には言えないことは注意



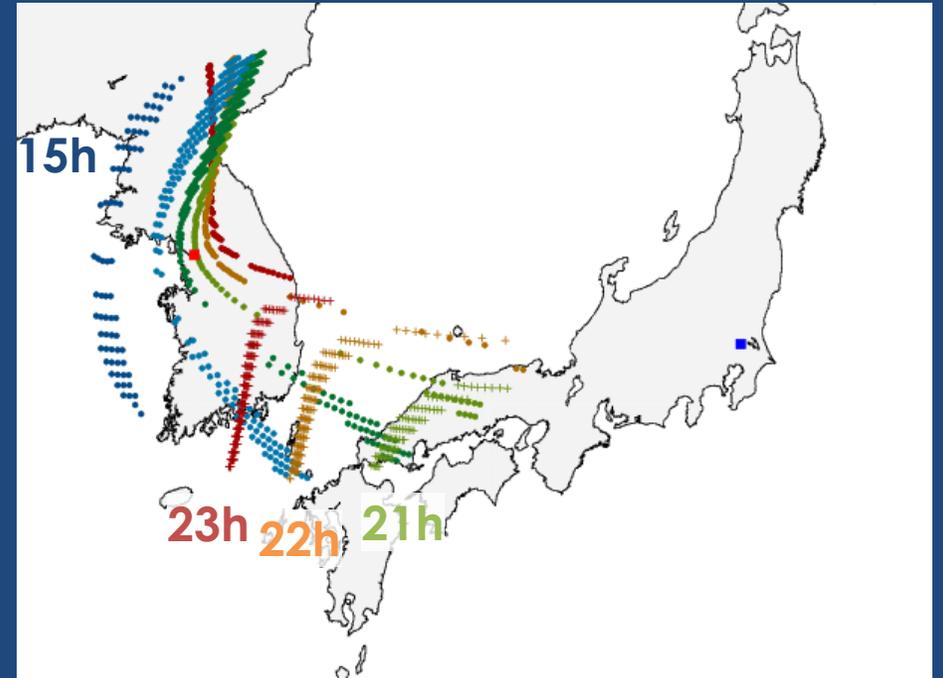
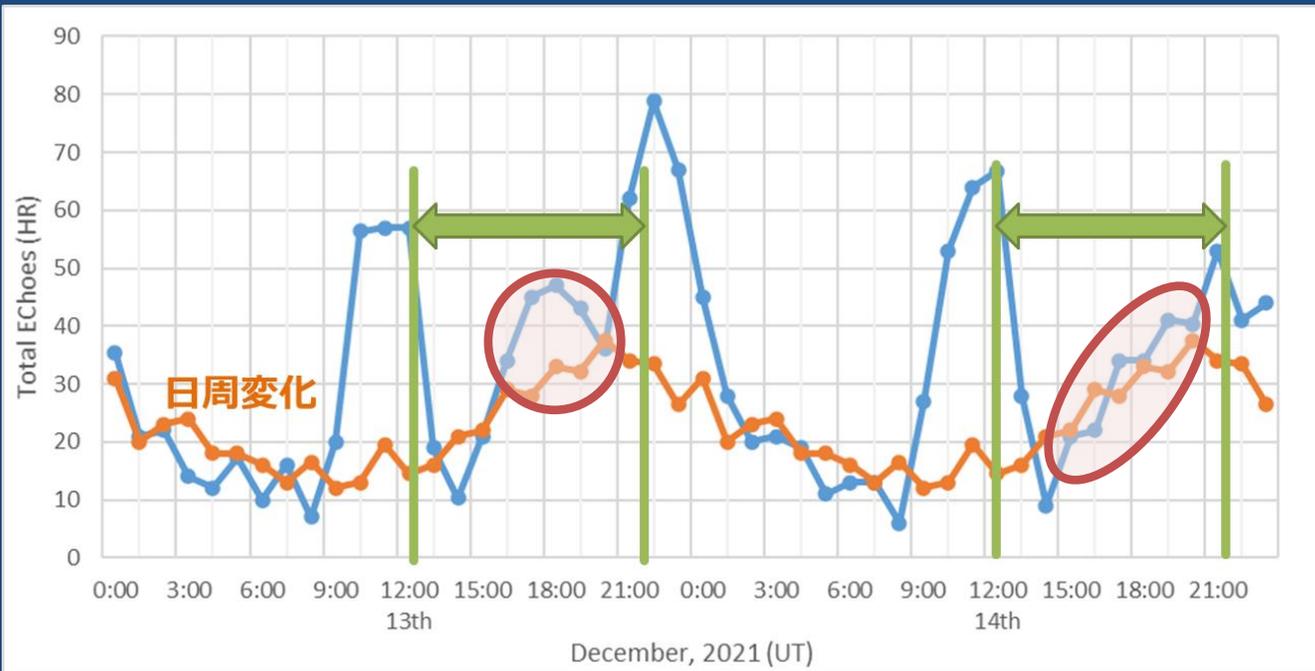
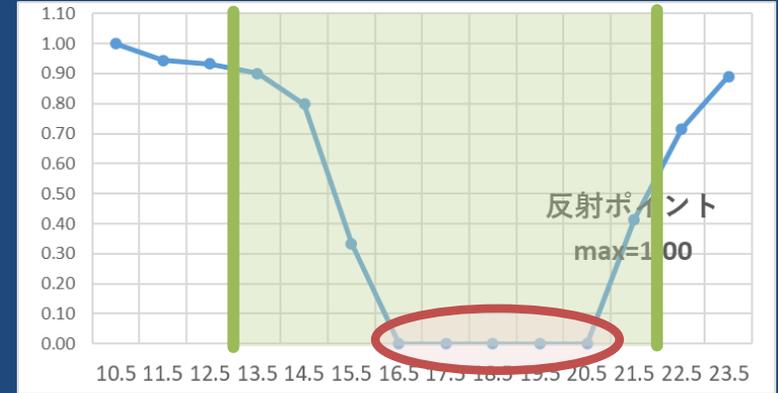
参考) 経路長の上限を変えてみる

- 経路長の上限を下げると天頂効果が早く効く。
- 13時UT頃からエコー数が落ちる実態からすると、600~800kmの範囲が妥当か。
- 注意事項
 - アンテナ・設置環境の考慮も必要。
 - オーバーデンスエコーはこの限りではない。

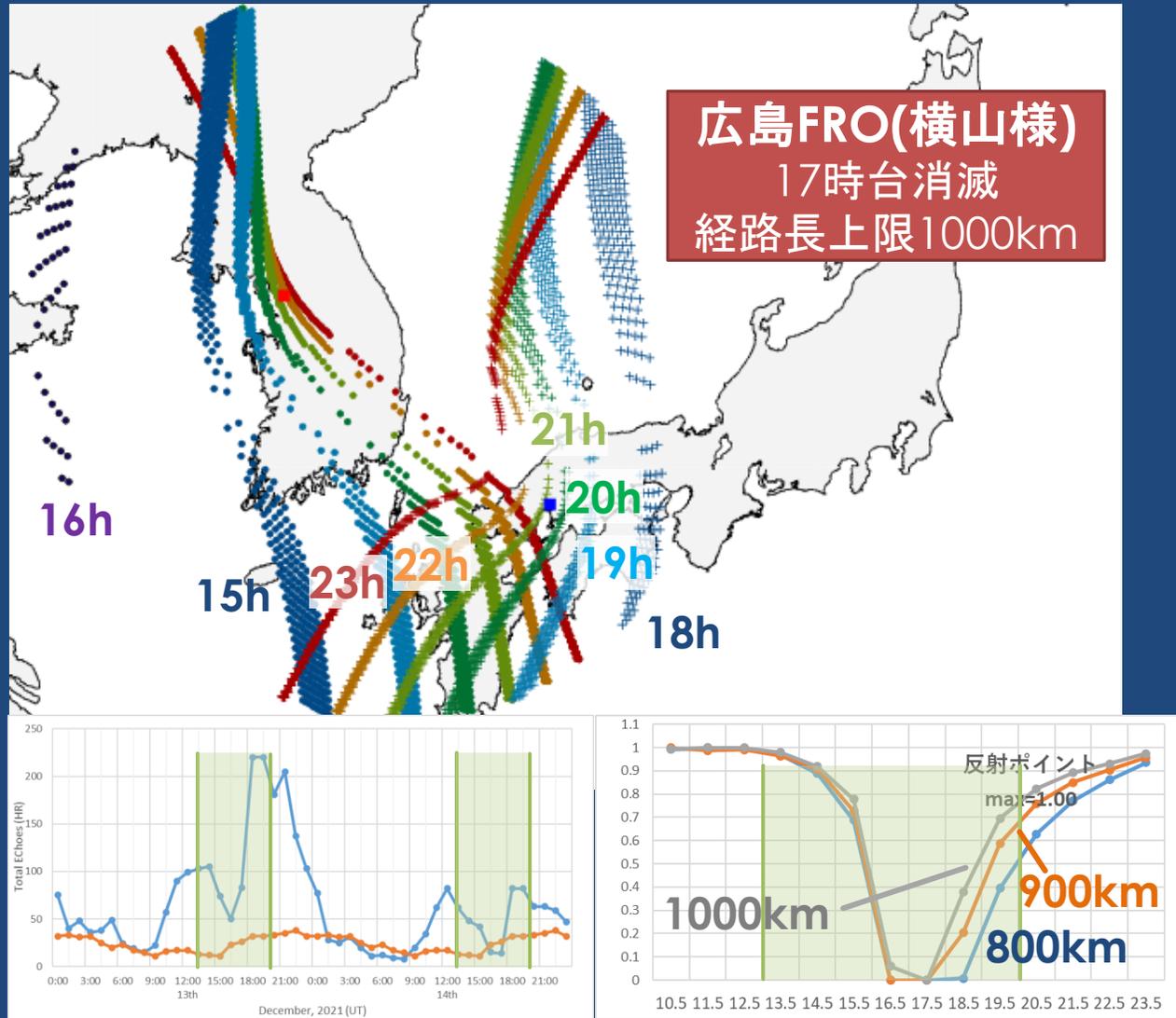
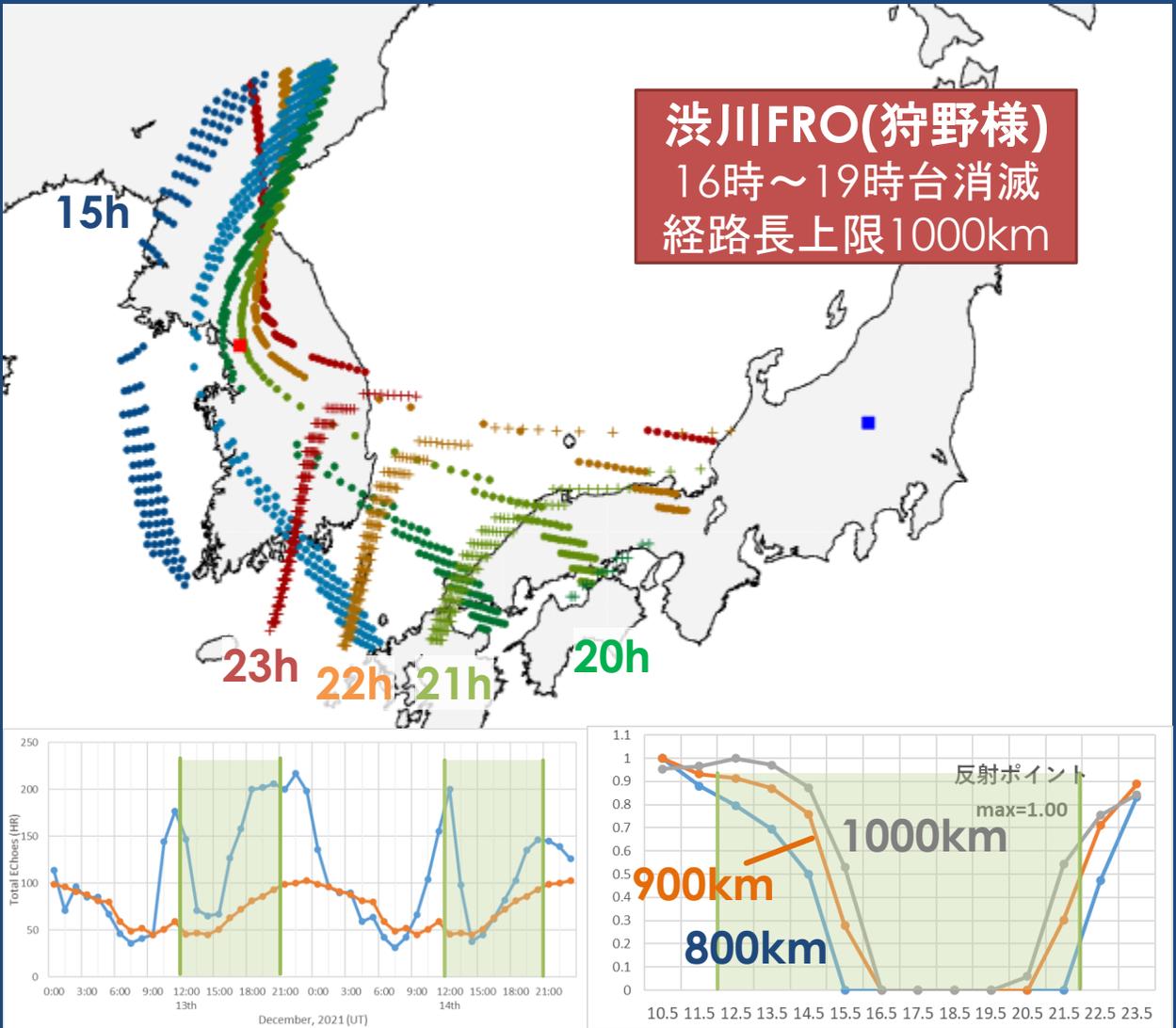


ふたご座流星群の結果（つくば市：92.5MHz）

- シミュレーションでは15時UTまではあるが、**16時～20時は消滅。**
- 送受信局距離が遠いので回転楕円体がより楕円になる。
- 反射ポイント数は**14時台から急激に減少**する
- 実際の観測結果からすると1000kmはやや長い気も。800kmくらいかな。
- 放射点い位置が低い時間帯は、点の数は多くても見かけの面積は小さい。
（※計算上、パラメータを一定間隔で変化させているため）

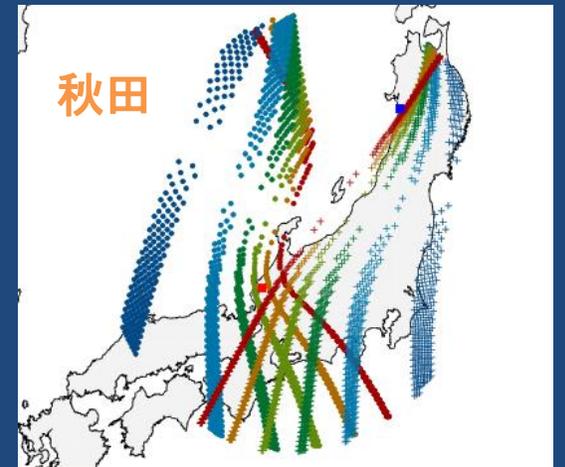
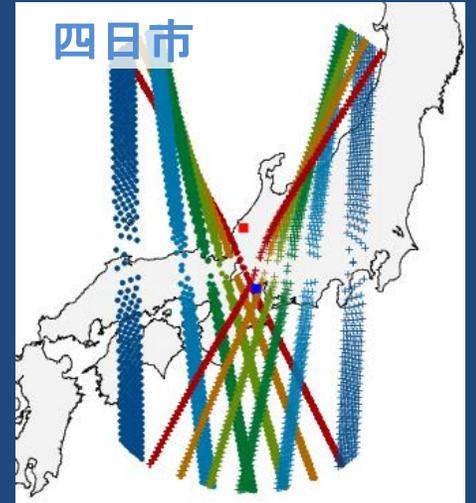
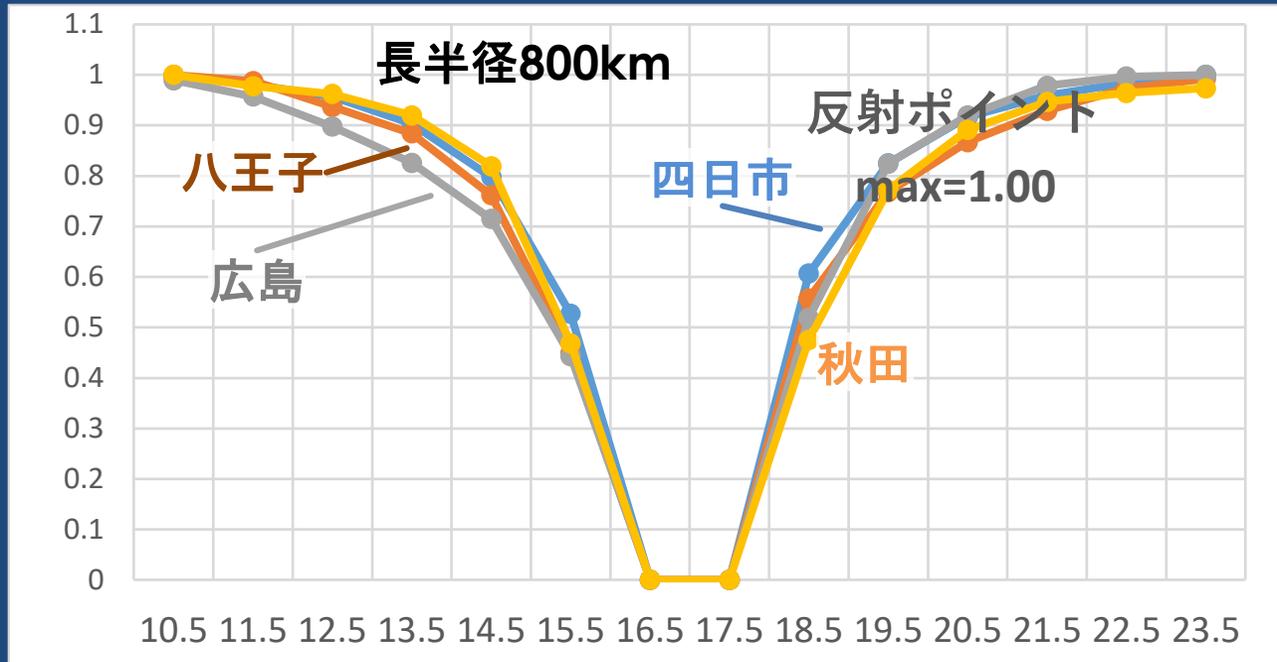
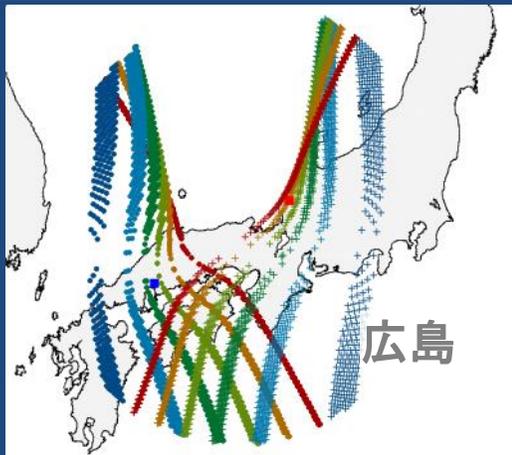
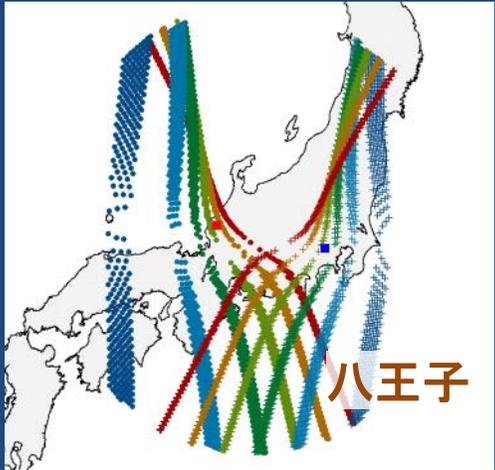


参考) FROは受信局で大きく反射領域が異なる



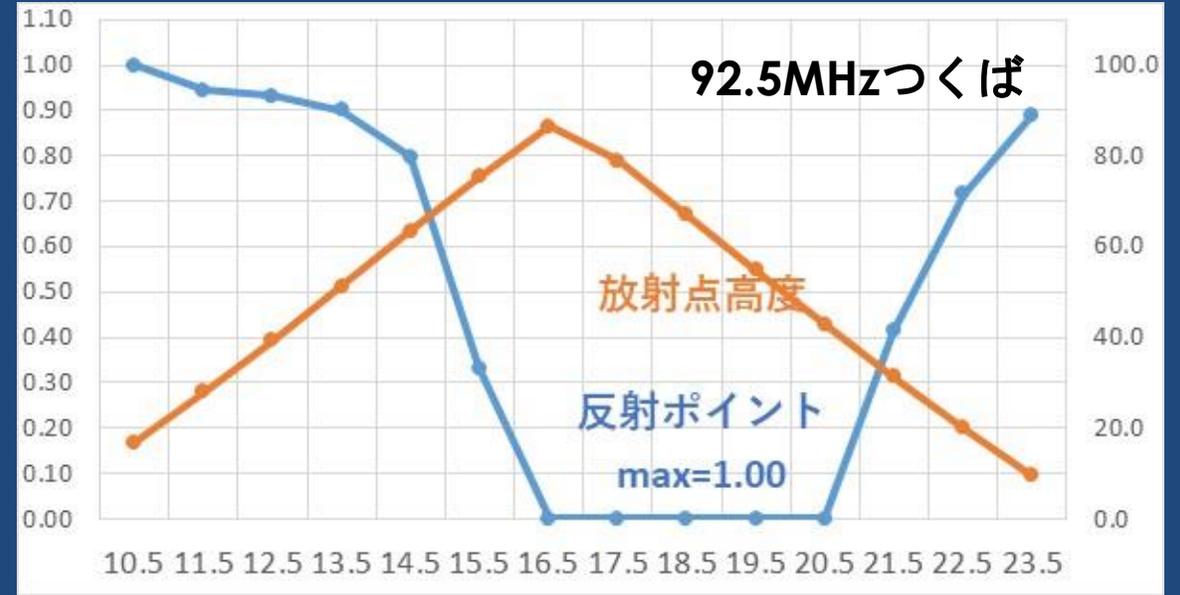
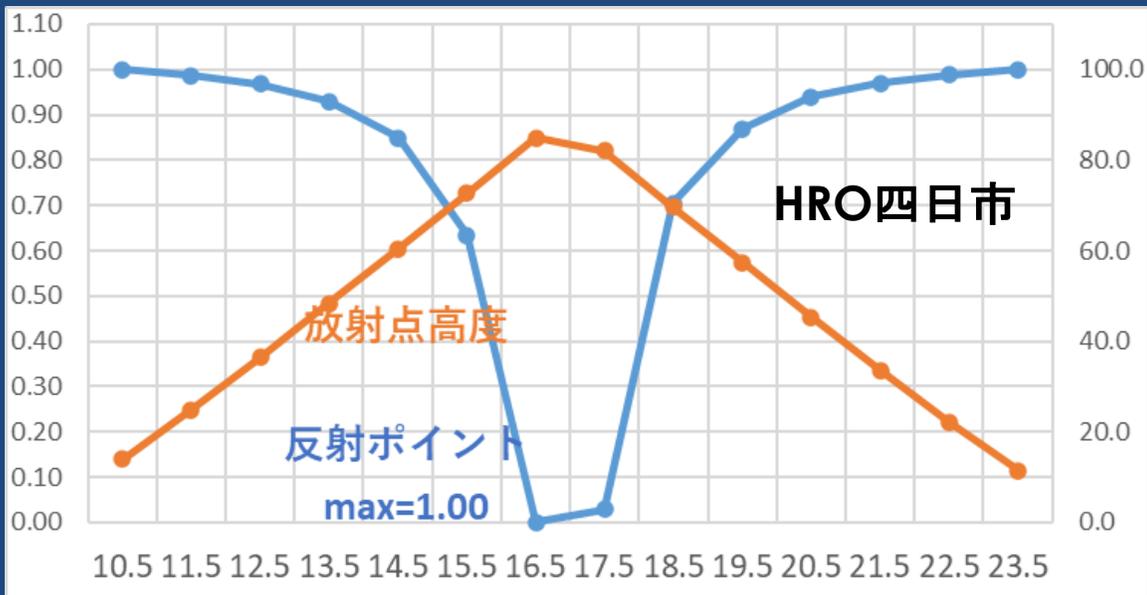
参考) HROは地点差はあまりないのが特徴

- HROの場合、送信局が各サイトの中心に位置するので回転楕円体の大きさがほぼ同じ。従って、影響するのは放射点高度と方位角のみ。



天頂効果の違いの影響

- Activity LevelやZHR_r計算時に**放射点高度が高い場合はカット**する。
- 従前国内は一律カットできたが、FROサイトが増える昨今では厳しい。
- **送受信点間距離を見ながら**、天頂効果時のデータカットを行う必要がある。
- 同じFROでも広島の場合は韓国との距離が近い**ため**、四日市に似たイメージ。



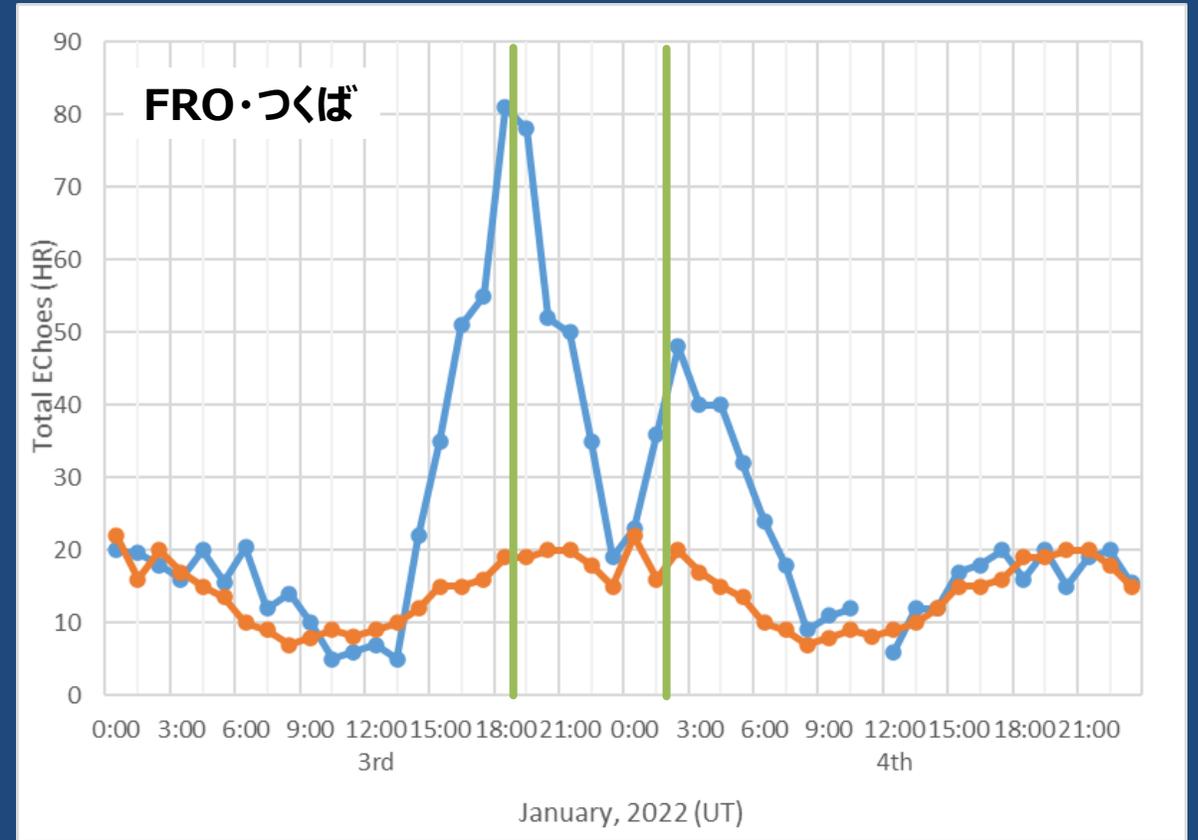
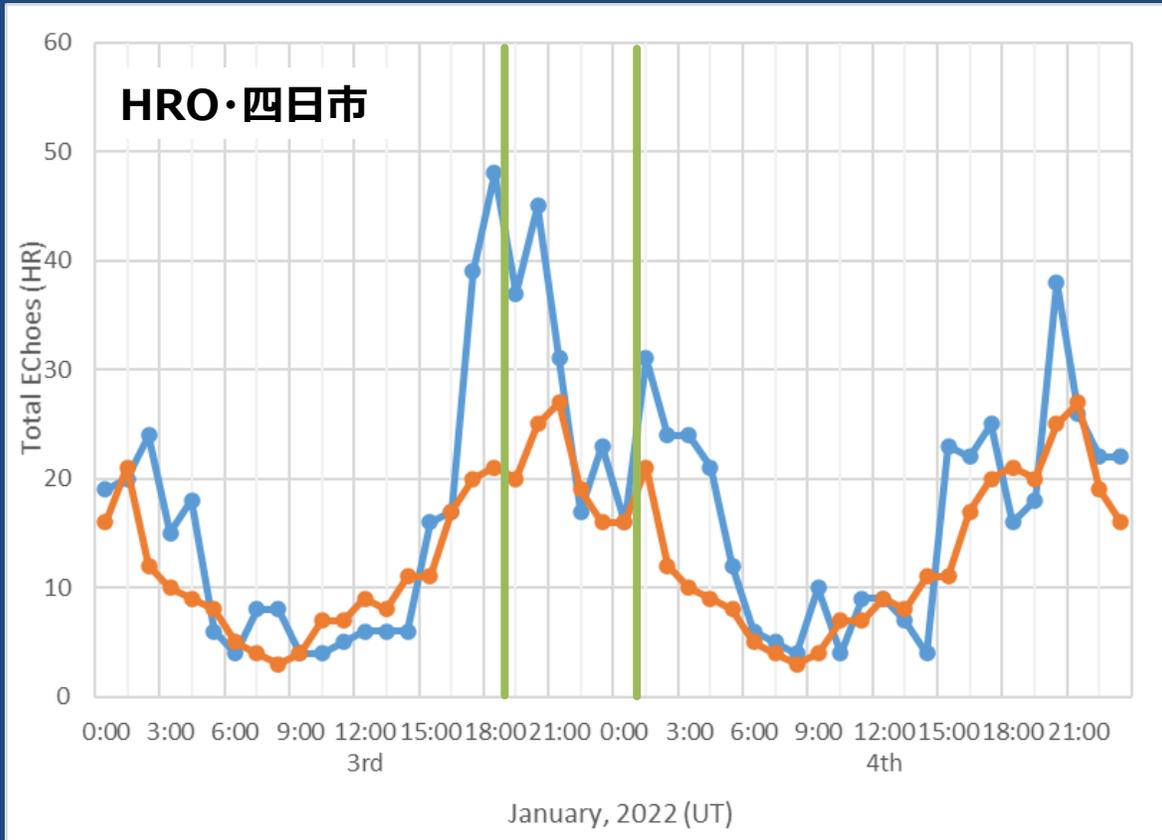
まとめ（ふたご座流星群）

- 送信局－受信局距離が大きく違うため、**FROとHROとでは天頂効果の効き方に差が生じる。**
- FROだとしても、西日本の場合は朝鮮半島に近いため、HROと同じような挙動となる。
- HRO**が主体の頃は、北日本を除くほぼ全地点で同じような天頂効果の効き方だったため、**一律の処理ができた**が、FROも多い現在では**HROとFRO**とでは、**送受信局間距離を考慮した処理が必要。**
- 反射領域計算の課題として、面積を求めたい（計算結果のポイント数だけでは、広い場合と狭い場合があるため、一律にポイント数が多いから多くの流星を捉えられるというわけでもなさそう）。

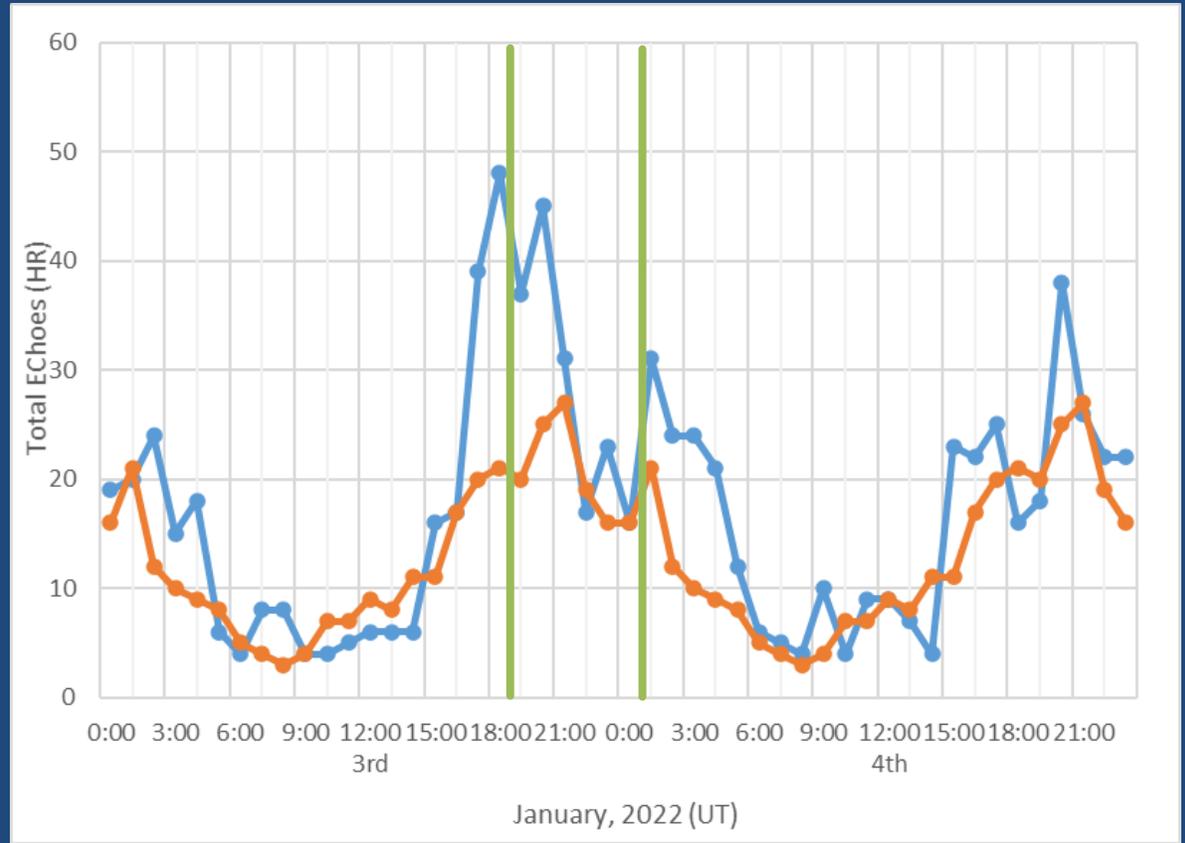
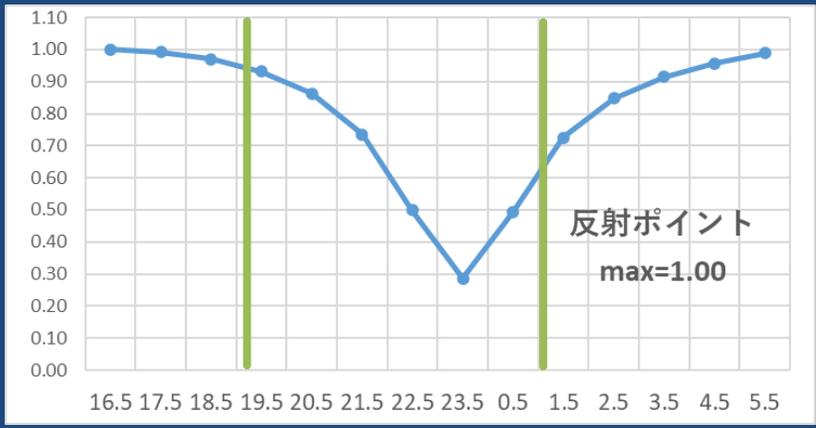
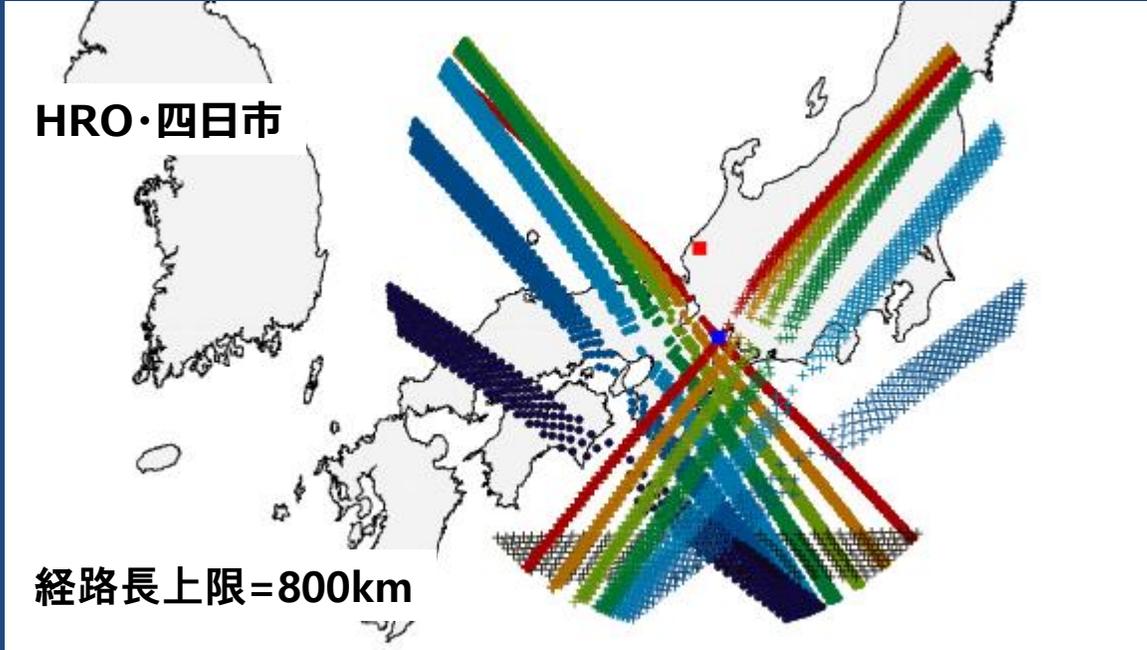
おまけ しぶんぎ座流星群について

しぶんぎ座流星群でも天頂効果が始まる

- しぶんぎ座流星群も、ふたご座流星群同様天頂効果が出る。
- HRO（四日市）もFRO（つくば）も3時(JST)～10時(JST)頃にエコー数が落ちる。

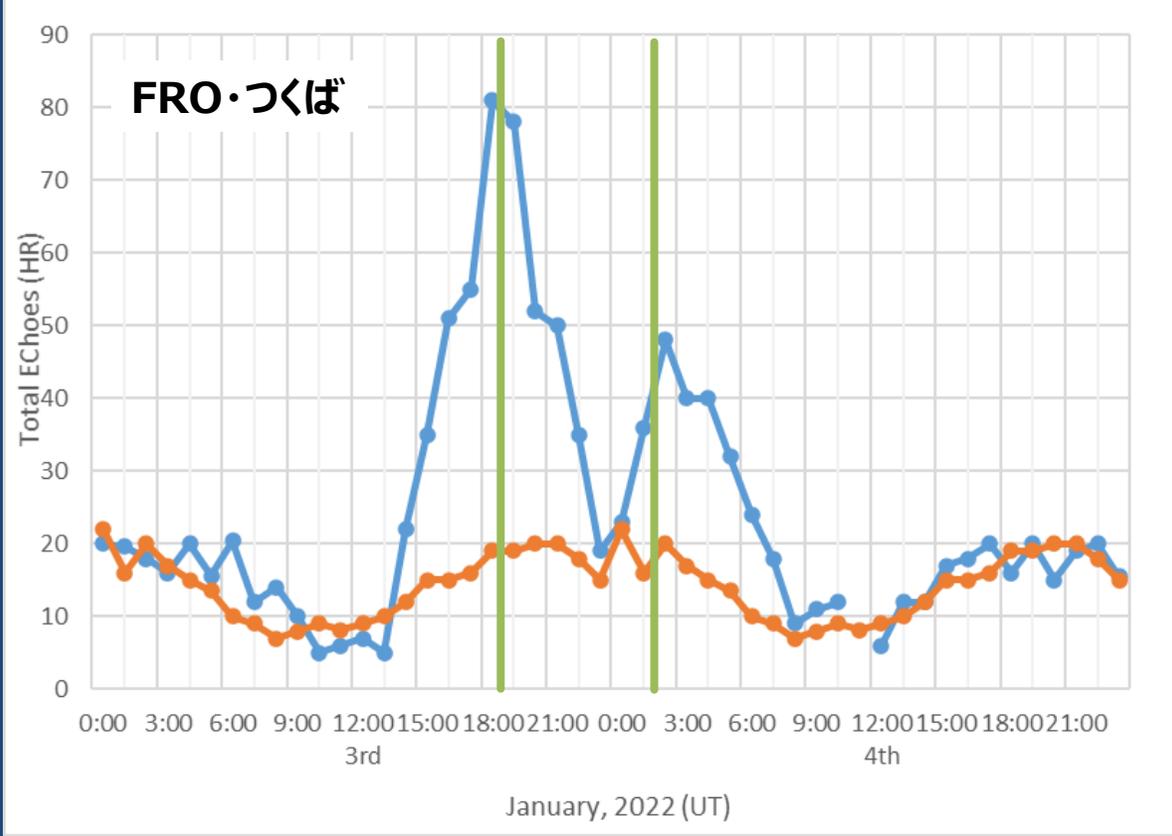
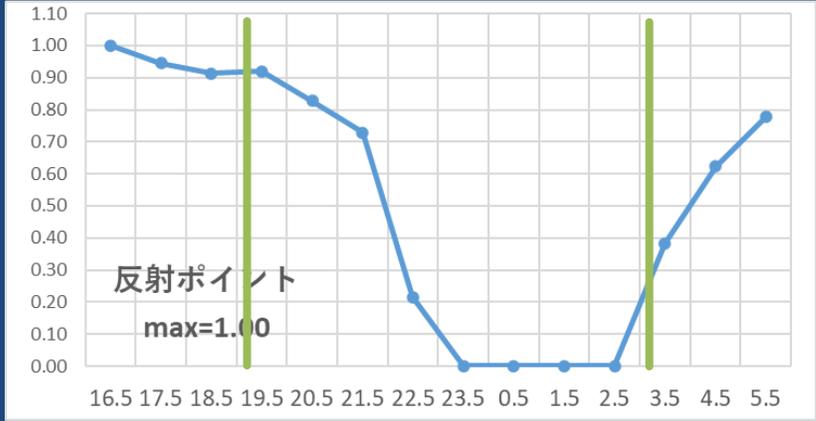
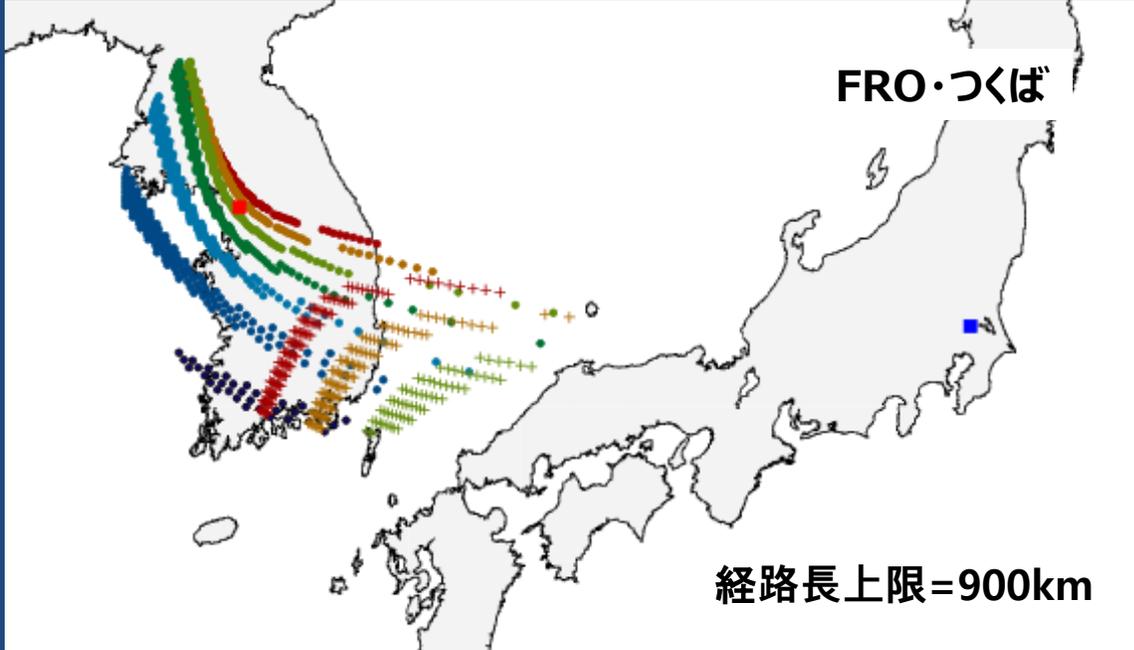


反射領域計算結果 (HRO・四日市)



○ 反射領域と天頂効果の違いは、おそらく面積の問題
(放射点が低いと点の数は多いが、面積は小さい)

反射領域計算結果 (FRO・つくば)



○ 反射領域と天頂効果の違いは、おそらく面積の問題
(放射点が低いと点の数は多いが、面積は小さい)



iprmo.org / amro-net.jp