

# 2020年7月8月の電波・光学同時観測

平塚市博物館流星分科会のTV観測と  
神奈川県茅ヶ崎市の自宅で行っている電波観測とで  
同時流星の検出をして同時・非同時流星に特徴的差異があるかを調べた  
解析にあたって先行研究を調べずに行った

平塚市博物館流星分科会 永井和男  
共同観測者 清水紘司、藤井大地、秋山純代、横関秀美、小林隆、岡澤智

# 先行研究

## Research for the Characteristics of Meteor Showers from Multi-Frequency Radio Observation

Tohoku Univ. Kayo MIYAO  
Univ. of Tsukuba Hiroshi OGAWA

流星電波観測：観測周波数と流星

## The Relationship between Fireball and HRO Long Echo

Erina Yanagida (Tohoku University)  
Shinobu Amikura (University of Tsukuba)

火球とHROロングエコーの関係

# 流星電波観測：観測周波数と流星の対地速度

アンダーデンスエコーのシリング高度  $H_c$  は、

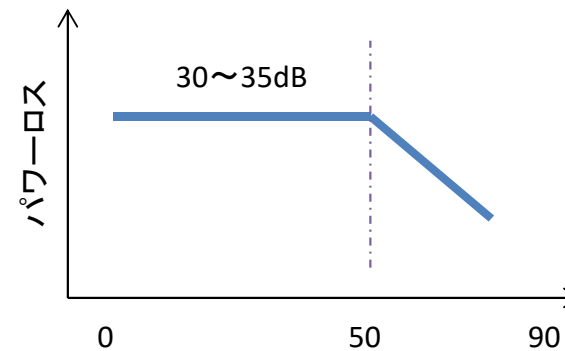
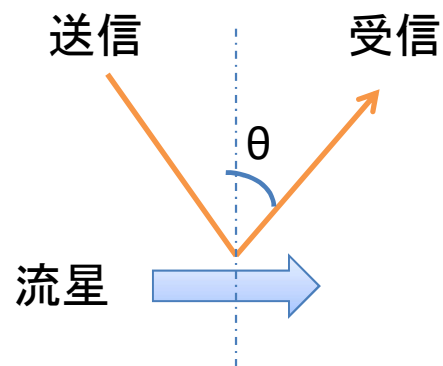
$$H_c = 82 + 49 \log_{10} V - 4.4 \log_{10} q \quad (V: \text{対地速度 km/sec}, q: \text{線電子密度 m}^{-1})$$

$$Mg = 36 + 2.5 \log_{10} V - 2.5 \log_{10} q \quad (Mg: \text{等級})$$

電波エコーのパワーロス  $L_p$  は、

$$L_p \propto \frac{1}{\lambda^{3/2} V}$$

周波数が高いとロスが大きい  
速度が速いとロスが大きい  
周波数が低く、速度が遅い方が強い電波となる



# 火球とHROロングエコーの関係-1

識別率 = 火球数とロングエコー数の比

-3等の流星は識別率が高い

これより明るい流星よりも暗い流星の方が識別率が高い

識別率の高さは ふたご > しぶんぎ > ししの順

電波と光学の同時流星は各流星群共に30%未満(電波と光学の同時流星は少ない)で、明るい流星がHROロングエコーとして受信されると言うわけではない。また、暗い火球の方がロングエコーとなる傾向があります。

識別率の高さは対地速度の“遅い順”と一致します ふたご > しぶんぎ > ししの順

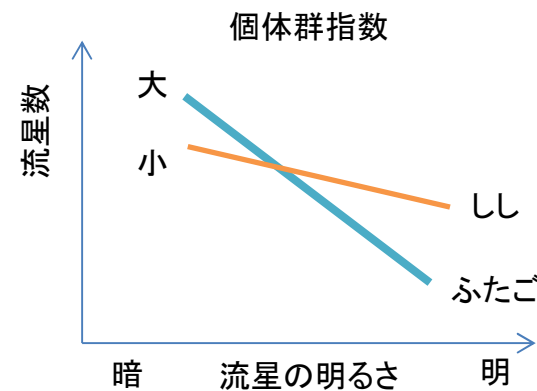
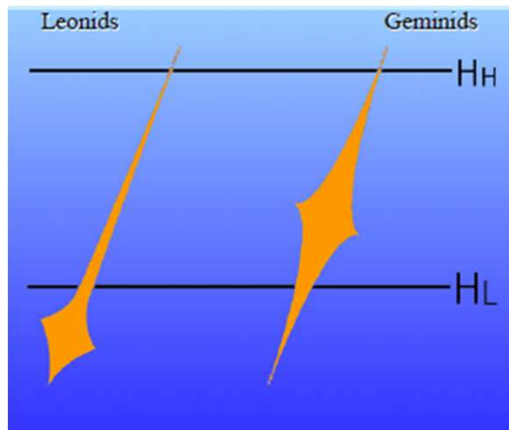
対地速度が遅い方が識別率(電波と光学の同時率)が高い



# 火球とHROロングエコーの関係-2

明るい流星は電子密度を高く維持できるのでHROロングエコーになるはずですが、高高度では大気密度が少なく電子的に不十分となって火球であっても電波で検出出来ない可能性があります。

明るいしし群よりも暗いふたご群の方が識別率が高いのは、電子密度が十分になる高度に範囲があり、その範囲に飛跡があると電波で検出されやすく、さらにその範囲で明るくなる流星は強いエコーとなると考えられます。



個体群指数: 横軸を等級、縦軸を流星数としたグラフの傾き  
個体群が少ないほど明るい流星が多いことを意味する。

# 2つの研究のまとめ

- 流星電波観測：観測周波数と流星
  - 周波数が低く、対地速度が遅い方が強い電波となる
- 火球とHROロングエコーの関係
  - 対地速度が遅い流星の方が電波・光学同時流星が多い
  - 電波・光学同時流星は30%未満
  - 火球は：明るい方より暗い方が電波・光学同時流星が多い
  - 火球は：明るいからロングエコーになると言う物ではない。むしろ、暗い方がロングエコーとなる
  - 適度な高度範囲に飛跡があると電波で検出しやすい、その範囲で明るくなると強いエコーになる
- ここでまとめた私の研究は、これらの先行研究を調べる前に行いました

# 観測者

- 観測期間
  - 2020年7月、8月
- 観測者 全て平博流星分科会メンバー
  - 光学(TV)観測
    - 小田原市
      - 清水(KN7\_01, KN7\_02)
    - 平塚市
      - 藤井(KNB\_ST 7/7のみ)  
学芸員
      - 秋山(KN4\_01, KN4\_02)
      - 横関(KND\_01, KND\_02)
      - 小林(KNF\_01)
  - 茅ヶ崎市
    - 岡澤(KN6\_02, KN6\_03)
    - 永井(KN9\_01, KN9\_02, KN9\_03)
  - 横浜市
    - 鈴木(KN8\_1)
  - 電波観測
    - 神奈川県茅ヶ崎市 永井
    - マスプロFM3、SDR(AIR SPY MINI)

# 観測場所



TV観測: 7名が真南にカメラを向ける  
HRO電波: マスプロFM3を真南に向ける

# 観測上の問題: 全ては検出できない

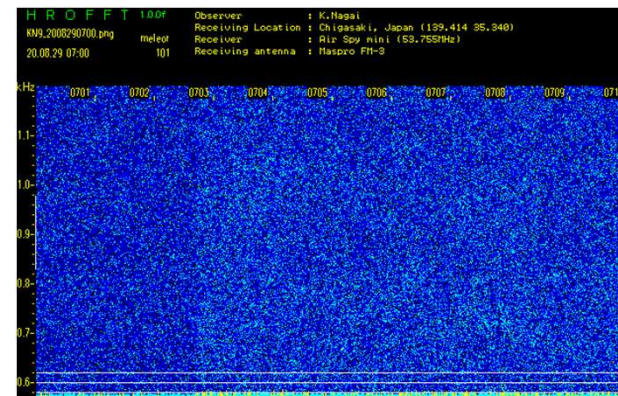
## TV観測(光学)

- 夜のみ観測
- お天気の影響
- 指向性が高い
- 明るさ測定が正確
- TV観測で同時流星なら
  - 方向・高度が求まる

## 電波観測

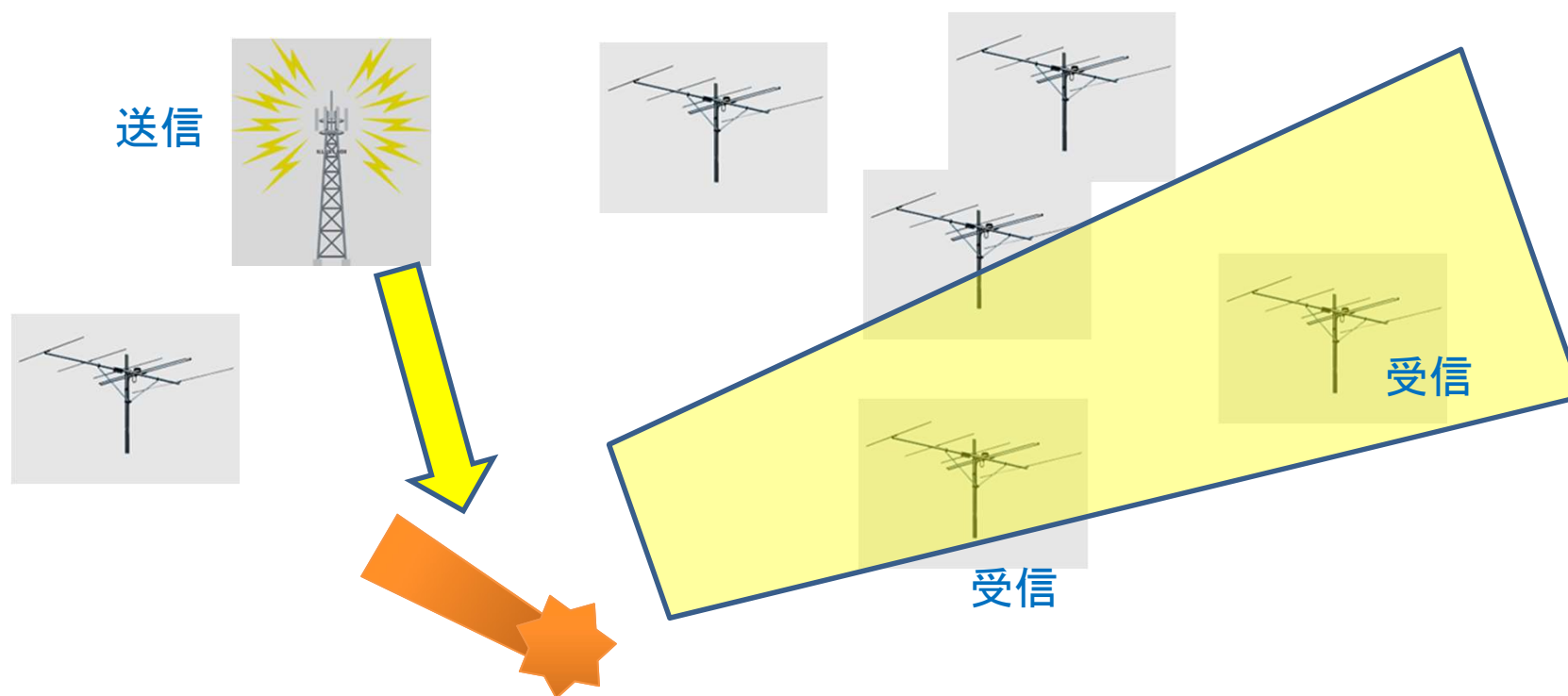
- 昼夜観測できる
- スポE・生活雑音などの影響
- 光学より広範囲を検知
- 私の受信システムの感度不足
  - 100Mの設備で50M帯を観測
- 受信したエコーの強度が不明
  - 現状、絶対値は分からない

全般にノイズっぽい  
朝7時からノイズ増加



# 電波エコー、1点観測の問題

- 1点観測はエコーがあっても検出されない場合がある
  - エコーに等方性が無く、幅が狭い場合
  - 受信システムの感度のばらつき(エコーがあっても受信されない場合がある)
- 多点で受信した電界強度が測定できれば流星の方位・高度がわかる？



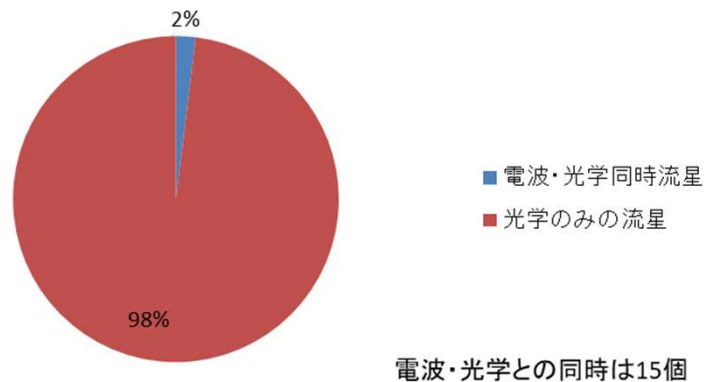
# 解析手順

- 光学多点観測から流星の対地軌道を求める
- 電波と光学でほぼ同時刻の流星を探す
- 同時流星の対地軌道等で類似する性質を探す
  - 類似しない性質も探したい
  - 対地軌道、絶対等級、速度、発光時間、高度...
- 同時流星の電波エコーで類似する性質を探す
  - 類似しない性質も探したい
  - エコーの強さ、継続時間、光学との時間差



# 検出数

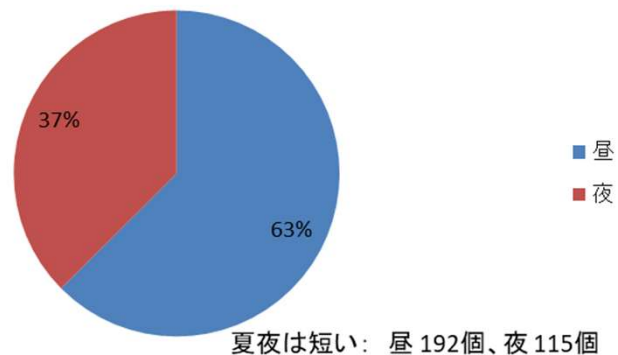
## 光学808個中、電波と同時の比率



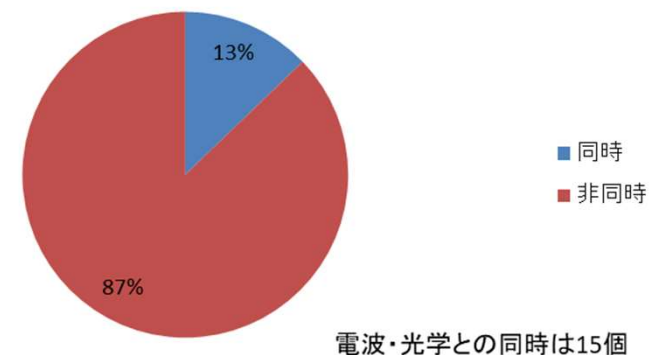
- 光学観測で軌道が求まった流星は808個 (UFO Orbit V2, Q0品質で解析)
- 電波エコーを307個検出
- その内、日没30分後から日出30分前までのエコーは115個
- 電波と同時は15個
- 電波と光学の同時流星は少ない

先行研究と同じ結果

## 電波307個の昼夜の比率



## 夜の電波115個中、光学との比率





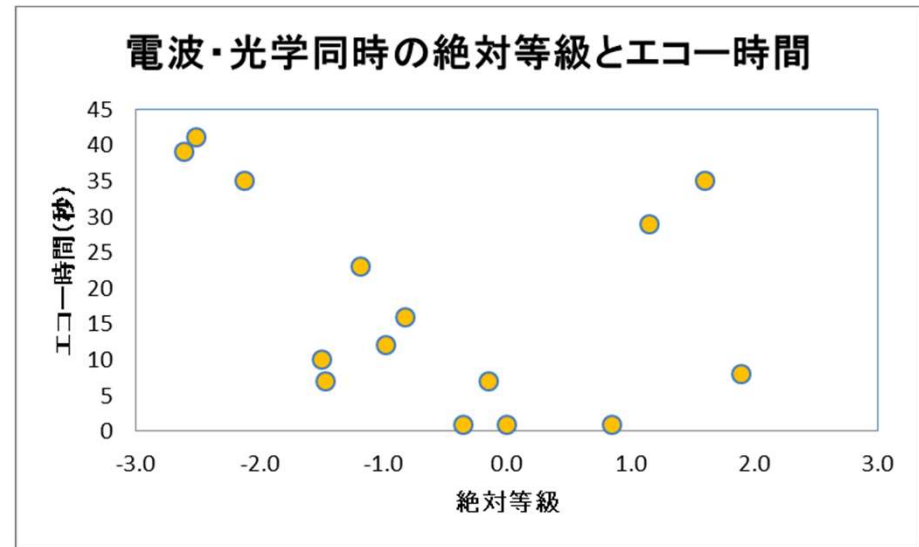
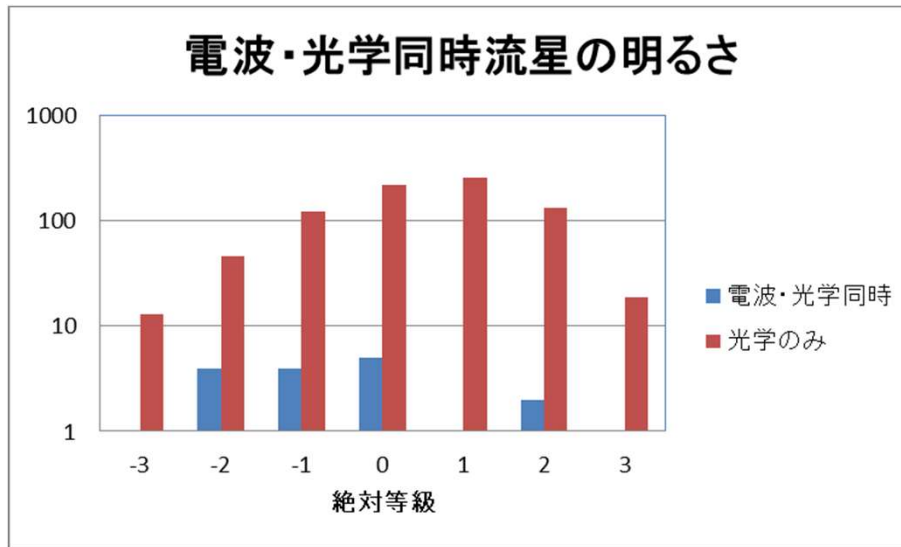
# 電波と光学の同時・非同時流星の比較

- 光学観測で対地軌道の分かった流星と  
電波観測と同時になった流星・同時にならなかった流星の比較を行った
  - 絶対等級 : 天頂方向100kmに換算した等級
  - 対地速度 : 対地速度
  - 継続時間 : 流星が光っていた時間
  - 始点高度 : 光りだした高度
  - 終点高度 : 消えた高度
  - グランドマップ : 流星の対地軌道を地面に投影した図

# 電波と光学の同時流星

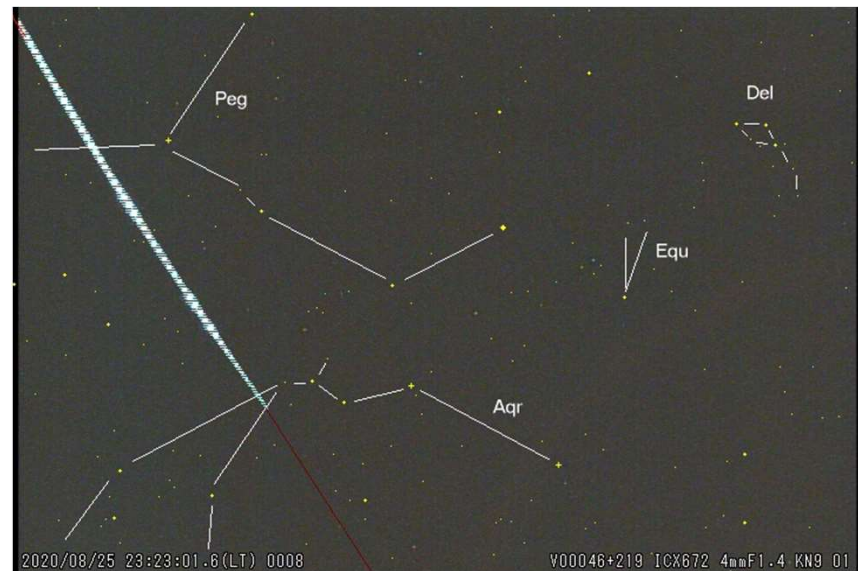
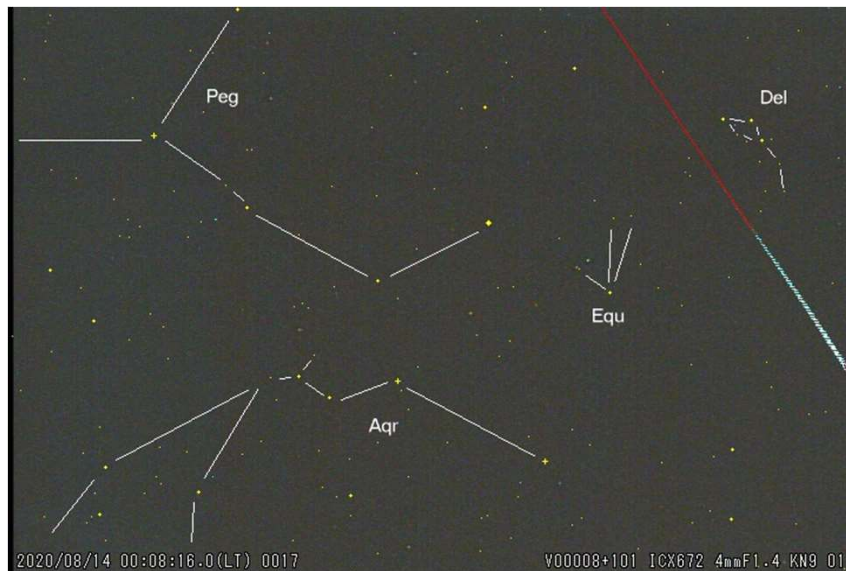
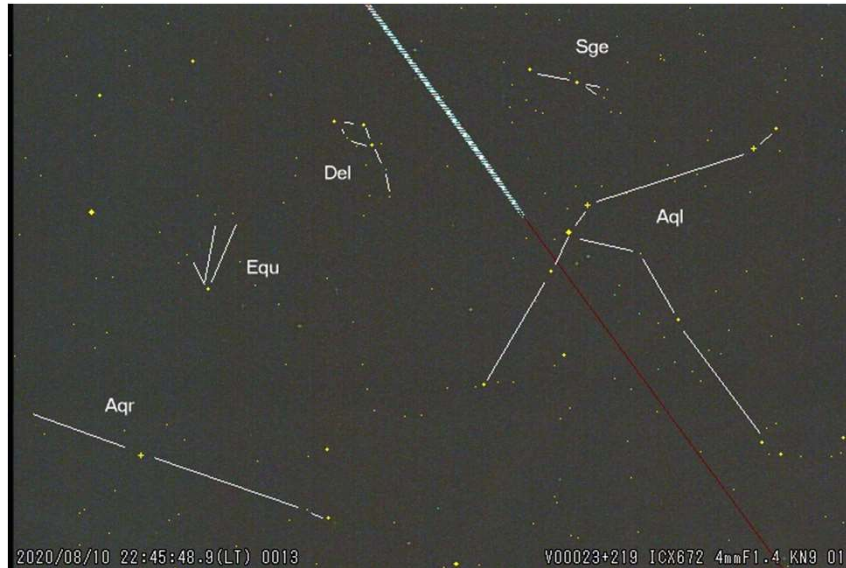
No	電波時刻	光学時刻	継続時間	エコー時間	stream	Amag	Vg	分光	remarks
1	20200730_195011	20200730_195008	0.47	35	J5_Per	-2.1	51.8	×	同じ流星、LONGエコー
2	20200802_013920	20200802_013900	0.50	8	J5_sdA	1.9	40.7	×	たぶん同じ流星
3	20200804_020139	20200804_020102	0.28	29	J5_sdA	1.1	35.1	×	同じ流星、LONGエコー、違うかも
4	20200810_224556	20200810_224548	0.47	23	J5_Per	-1.2	48.9	×	同じ流星、LONGエコー
5	20200811_030529	20200811_030545	0.10	1	spo	1.6	51.3	×	同じ流星かも知れない
6	20200812_232440	20200812_232507	0.57	12	spo	-1.0	41.2	×	電波の方が先に検出、時刻は似ている
7	20200813_005336	20200813_005343	0.35	1	J5_Per	0.8	58.0	×	同じ流星
8	20200813_012254	20200813_012315	0.33	7	J5_Per	-1.5	58.8	×	同じ流星かも知れない、断続的なLONGエコー
9	20200813_033042	20200813_033022	0.10	39	J5_Per	-2.6	51.1	あり	同じ流星、LONGエコー
10	20200813_034623	20200813_034627	0.20	1	spo	-0.4	63.5	×	同じ流星
11	20200814_000819	20200814_000815	0.40	16	J5_Per	-0.8	53.8	×	同じ流星、LONGエコー
12	20200814_012517	20200814_012509	0.36	10	spo	-1.5	63.7	×	たぶん、同じ流星
13	20200820_234831	20200820_234828	0.73	1	spo	0.0	35.5	×	同じ流星
14	20200825_232310	20200825_232301	0.83	41	spo	-2.5	57.3	×	同じ流星、LONGエコー
15	20200828_040247	20200828_040243	0.97	7	spo	-0.2	37.8	×	同じ流星

# 絶対等級の比較

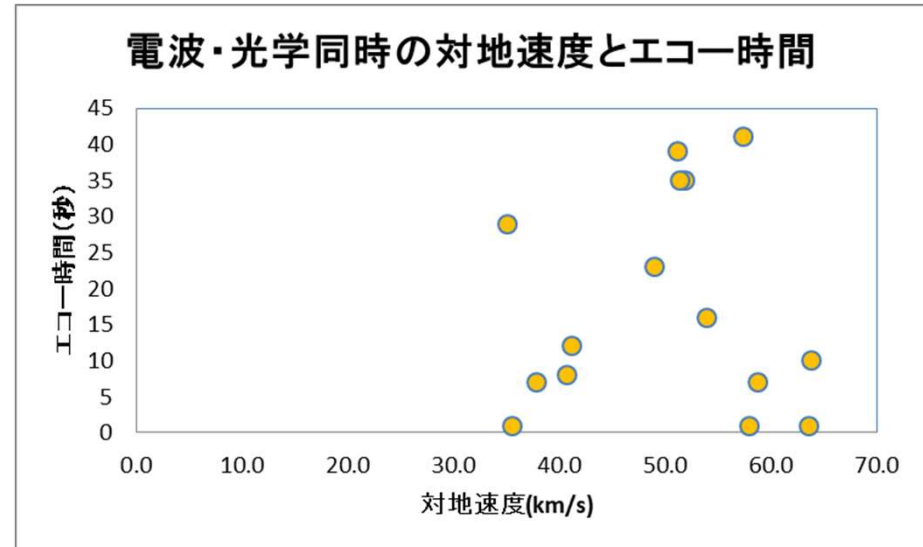
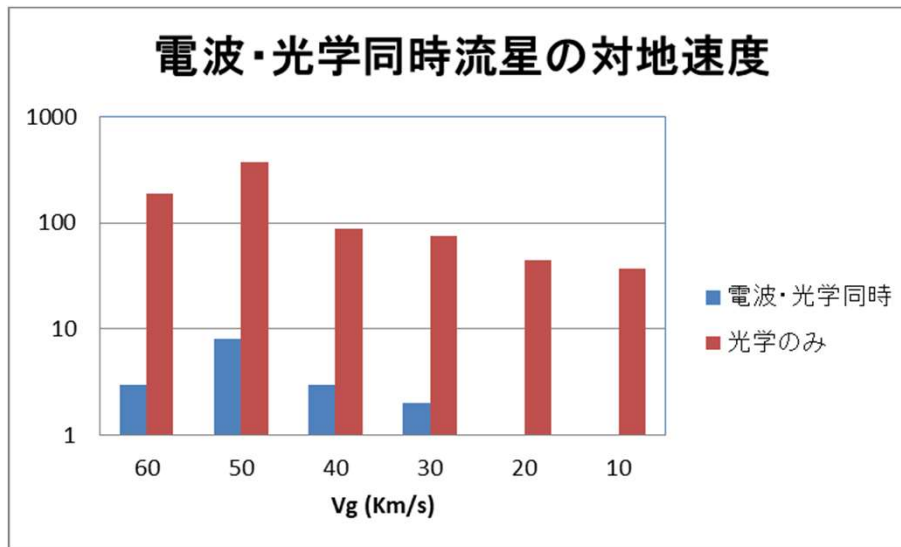


- サンプルが少ないが、明るさと同時流星数には相関があるように見えなくもない
  - 明るい流星が必ずしも電波で検出されるわけではない 先行研究と同じ結果
- エコー時間は0等より明るい物には相関がある、0等以下には相関が見られない
  - 暗い流星は同時流星では無いかも知れません
  - 明るいとロングエコーになる 先行研究では-3等付近でロングエコー検出が多くなっている

# ロングエコーとなった流星は明るい



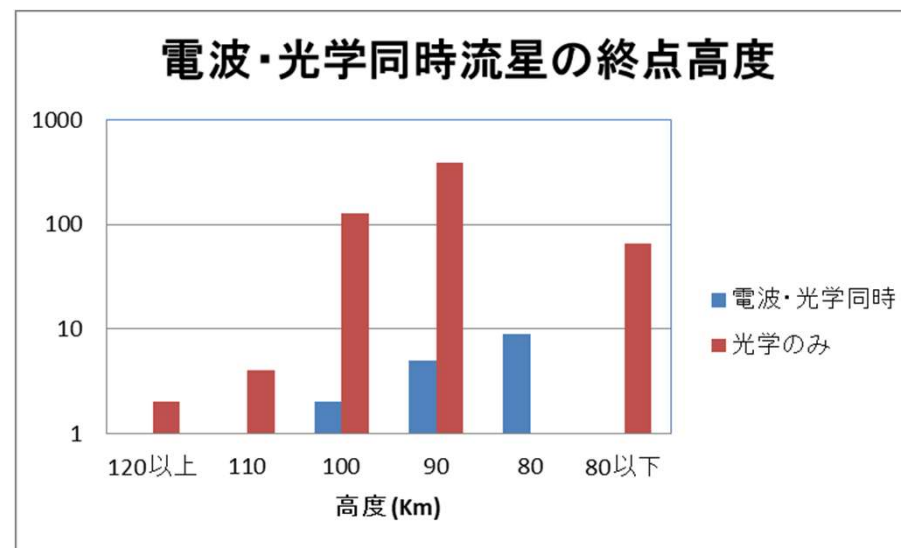
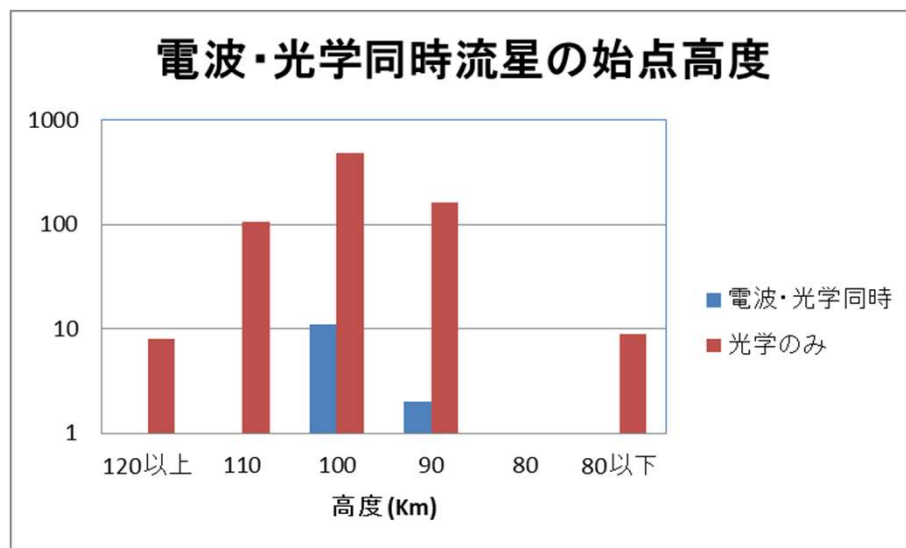
# 対地速度の比較



- 速度と同時流星数には相関があるように見える
  - 数が多いと同時流星も増える
  - 速度が異なっても同率で同時流星がある
- エコー時間と対地速度には相関が見られない

先行研究では速度が遅い方が電波光学同時流星が多いとされている

# 高度の比較

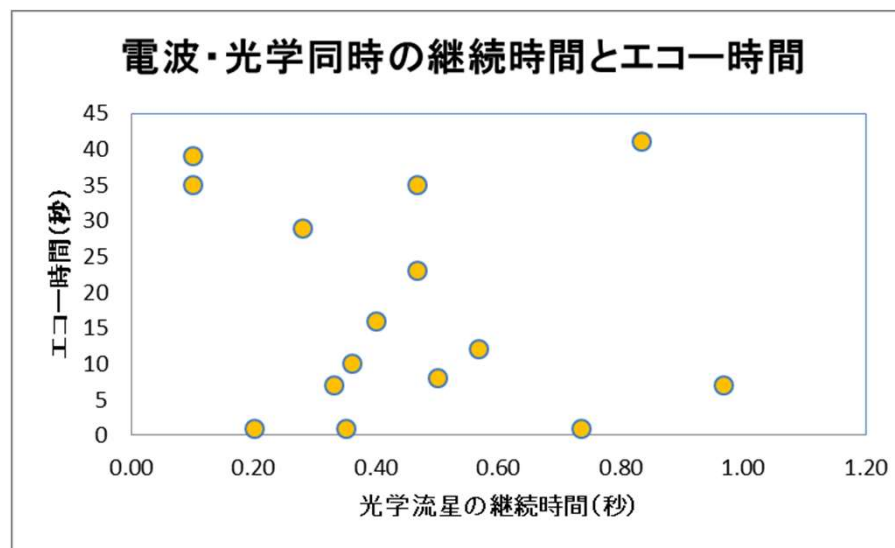
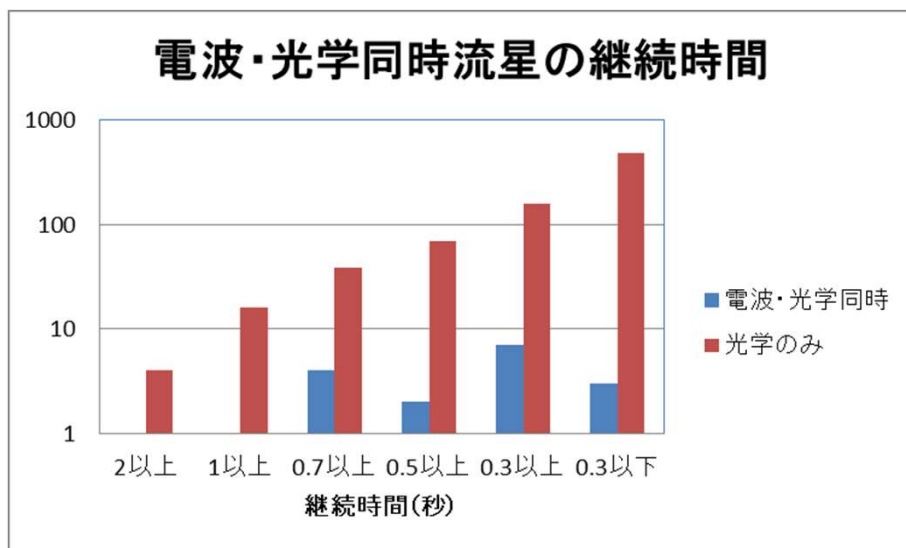


- ピークが一致している様なので始点高度と同時流星数には相関があるようにも見える

- 低い方が多い傾向は同じなので、終点高度と同時流星数には相関があるのかも知れない

先行研究では、ある高度の範囲で電波強くなると考察されている  
今回の結果を見ると100kmから80kmがその範囲となる

# 発光継続時間の比較

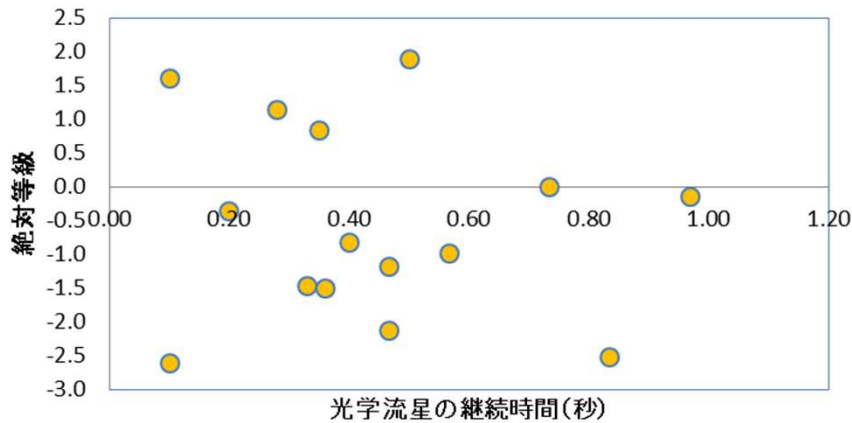


- 発光時間が少なすぎると電波エコーが減る
- また、長ければ同時流星が多いわけでもない
- 適度な範囲があるようです！（発光継続時間に注目する必要あり）
- エコー時間と継続時間に相関は無い
  - 発光継続時間が短くてもロングエコーになる

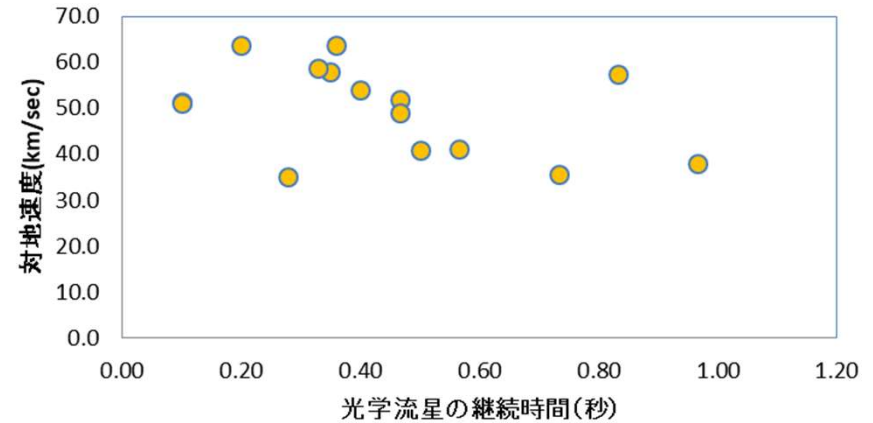


# 同時流星の継続時間と各諸量の相関

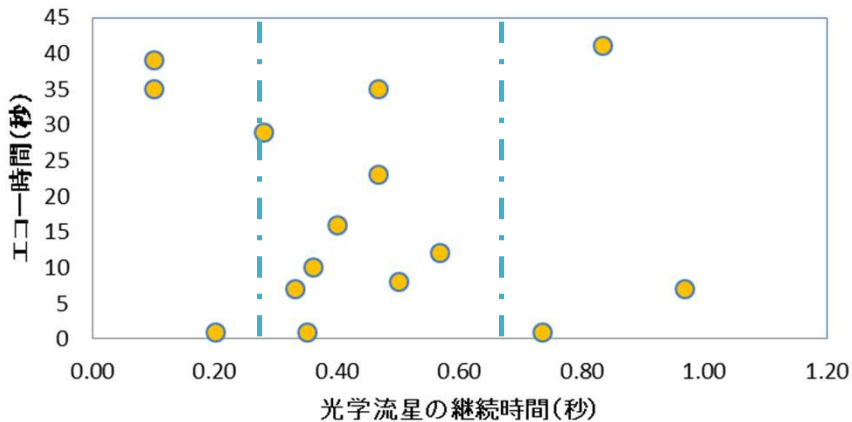
## 電波・光学同時の継続時間と絶対等級



## 電波・光学同時の継続時間と対地速度



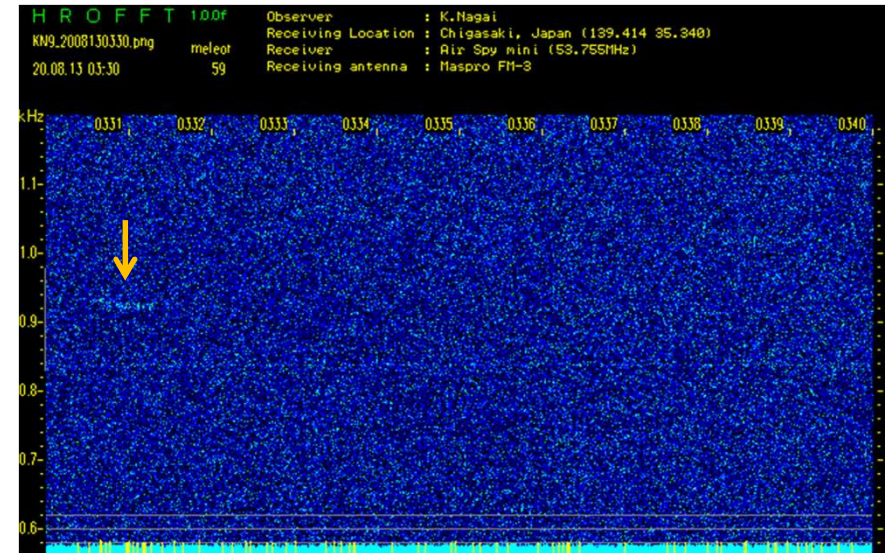
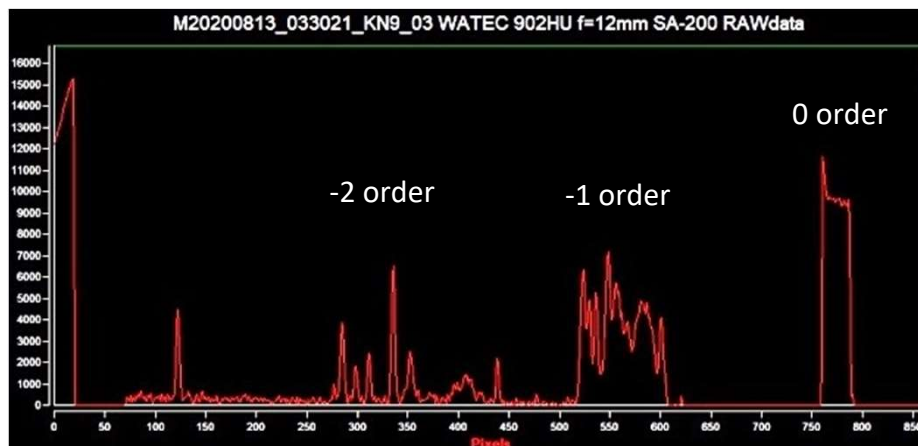
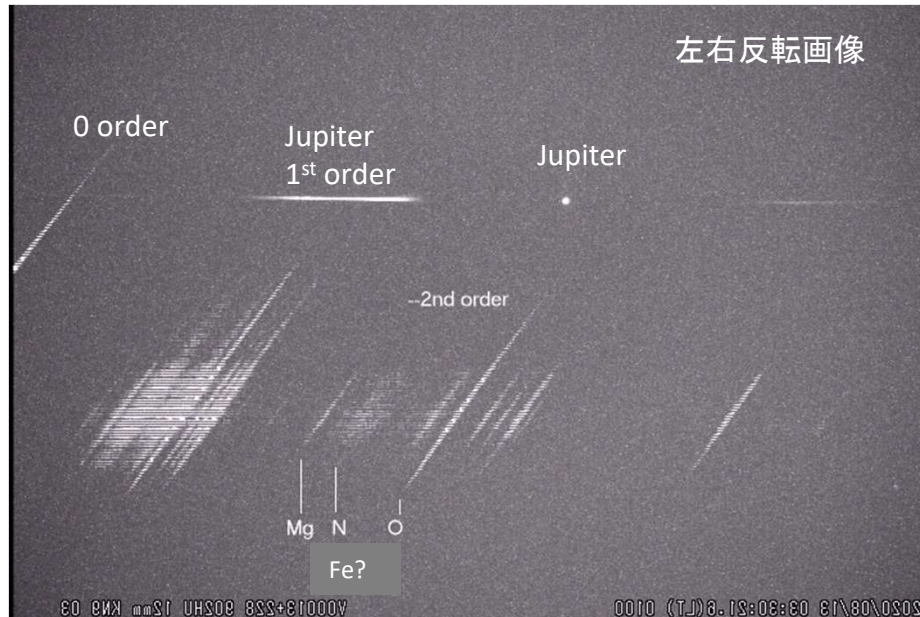
## 電波・光学同時の継続時間とエコー時間



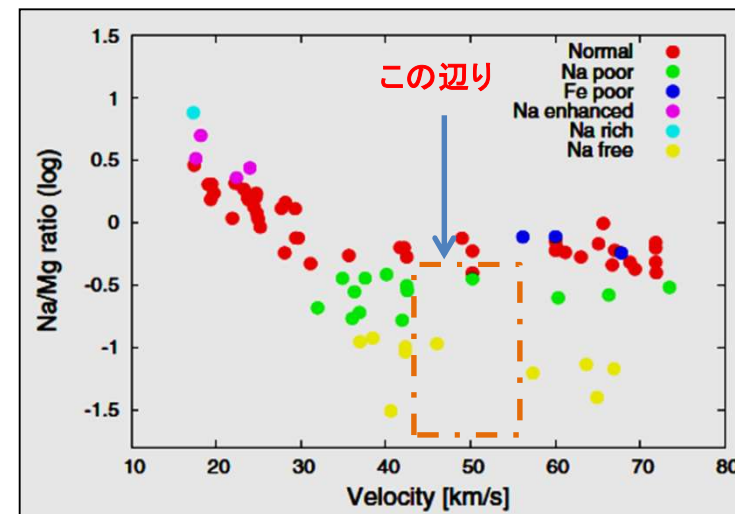
- どのグラフを見てもエコー時間と相関が無いようです
- ところが、継続時間とエコー時間を見ると継続時間0.6秒以下の流星が電波で検出されやすいと思えます
- 継続時間が短いほど流星の数は増えてますが電波と同時の流星は増えていません
- 継続時間が0.3~0.6秒の流星が電波と同時流星になりやすいと思われま

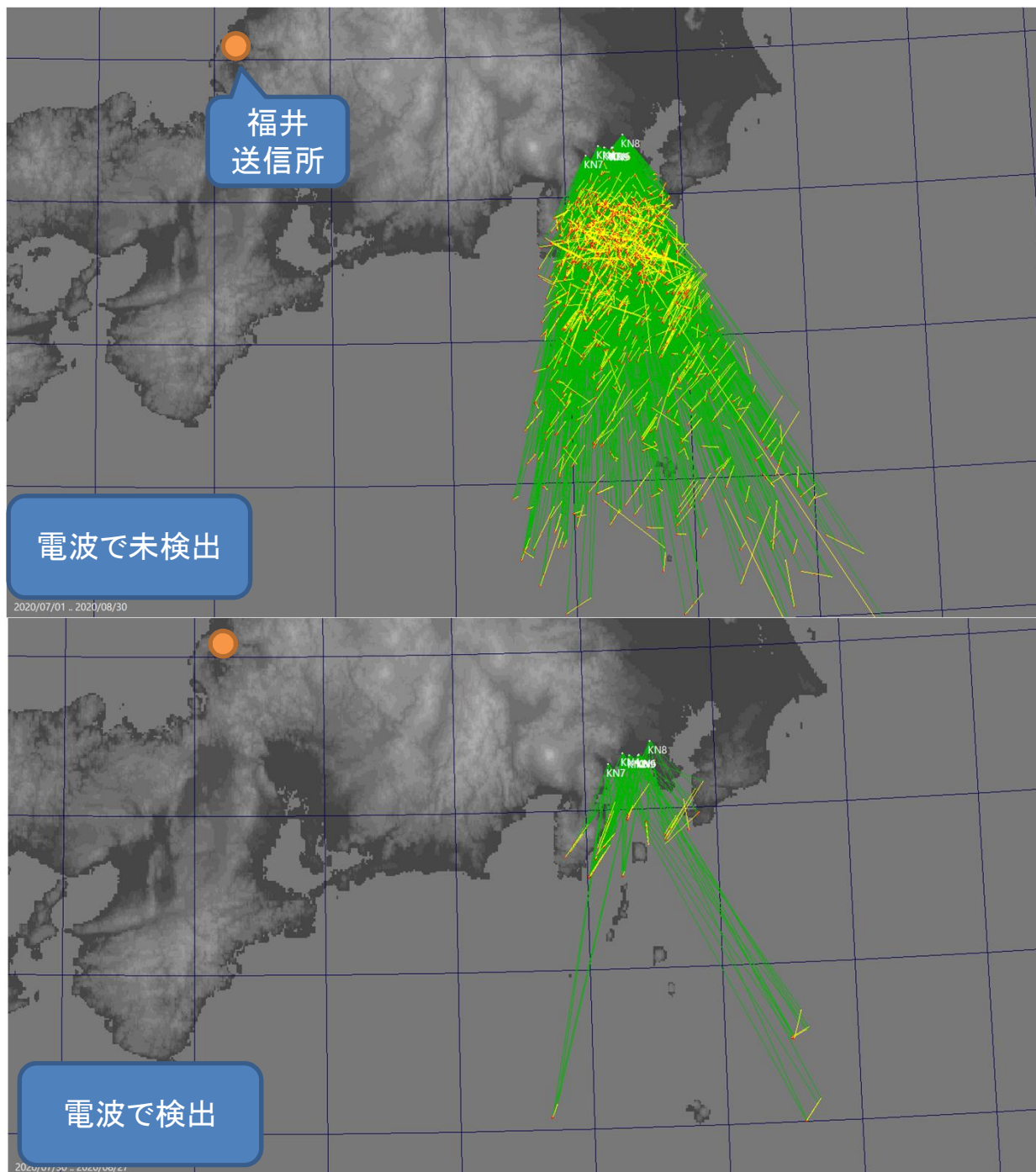


# 分光観測



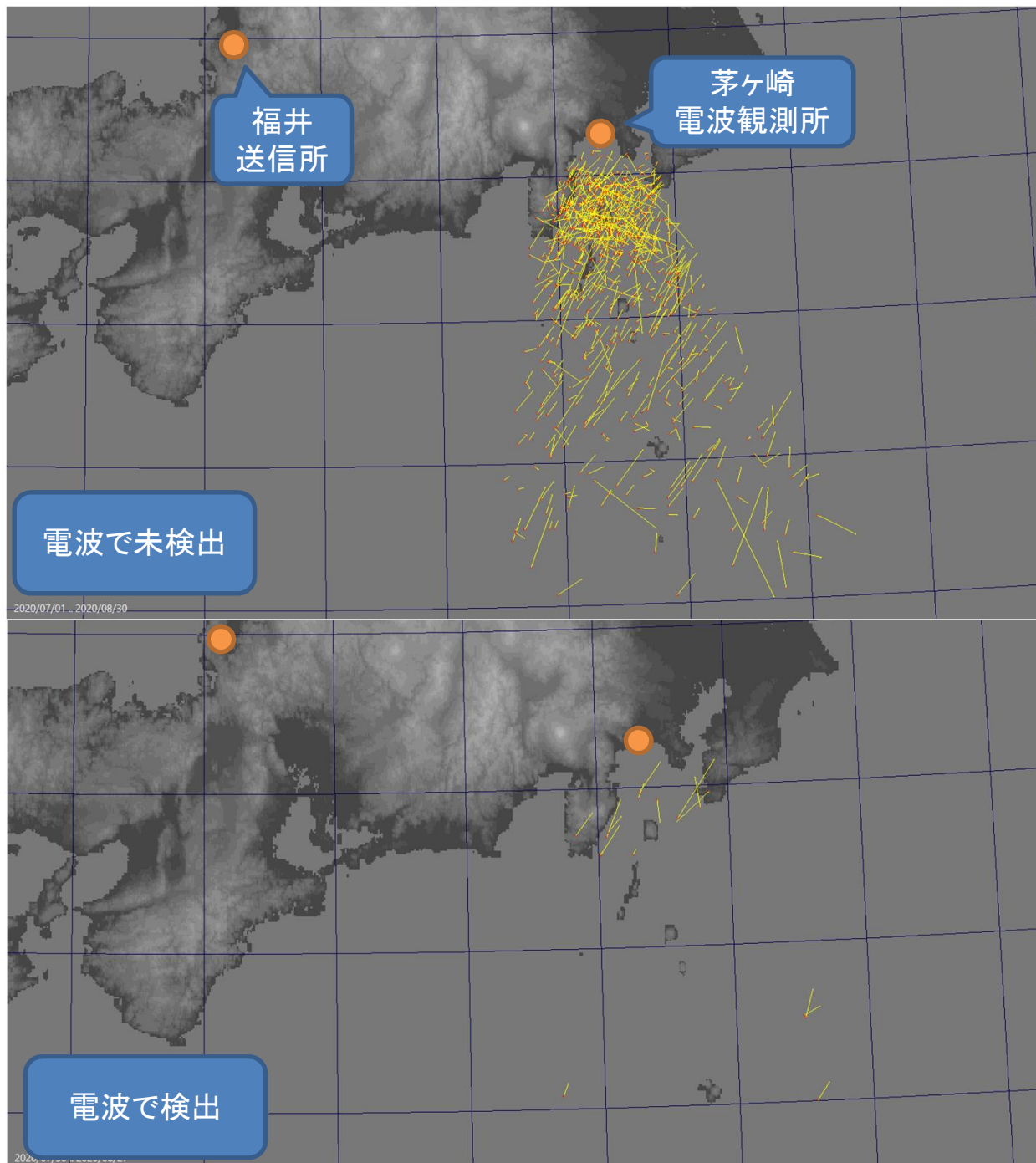
- 2020/08/13 03:30:21の流星スペクトル
- -2.6等、明るいペルセ群
- 50km/sec、39秒のLong Echo
- Na poorかFreeと思われます
- サンプルが1つしか無く、議論は難しい





- 光学観測から得られたグランドマップ
- 上図は電波と非同時の流星
- 下図は電波と光学の同時流星



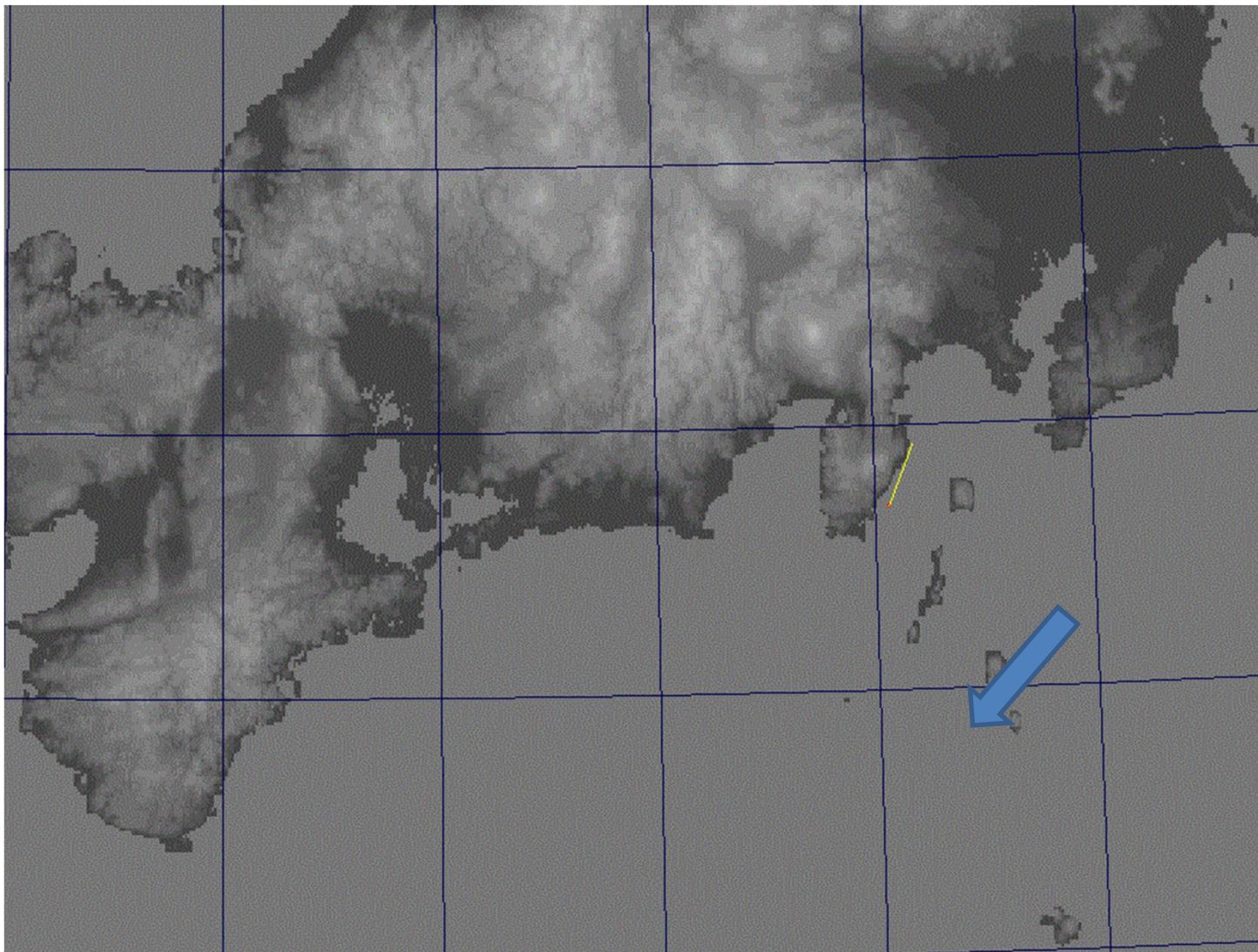


- 前のスライドから流星の軌道だけを描いたグランドマップ
- 上図は電波と非同時の流星
- 下図は電波と光学の同時流星
- 近傍の流星は見かけ上明るいので平塚/茅ヶ崎近傍の流星が多い



この角度の流星の電波エコーを受信している場合が多い

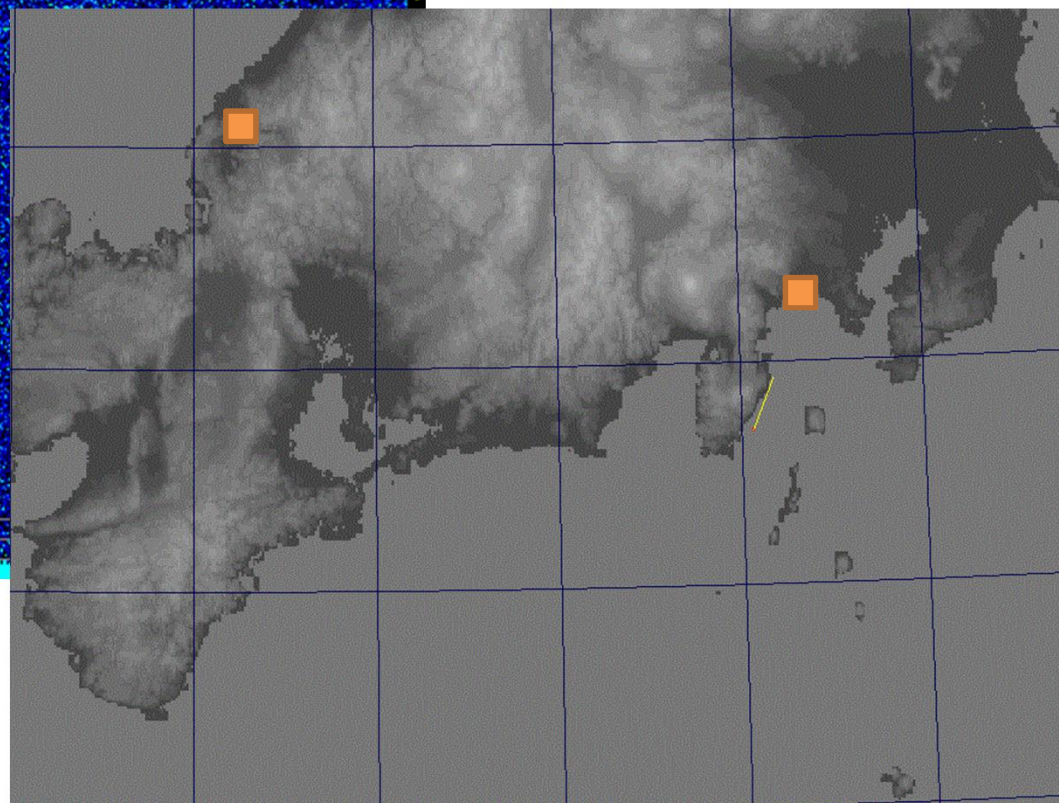
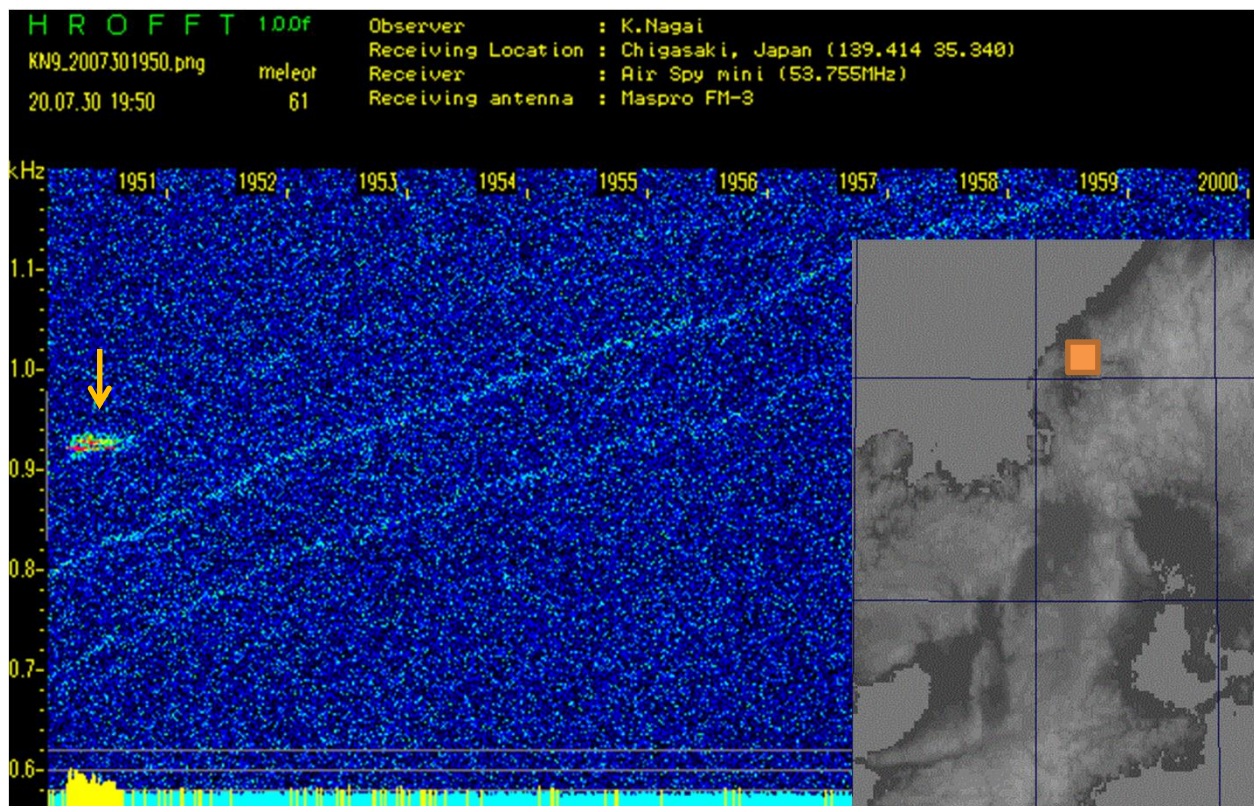
# 光学・電波同時流星の対地軌道動画





# 電波20200730\_195011 光学20200730\_195008

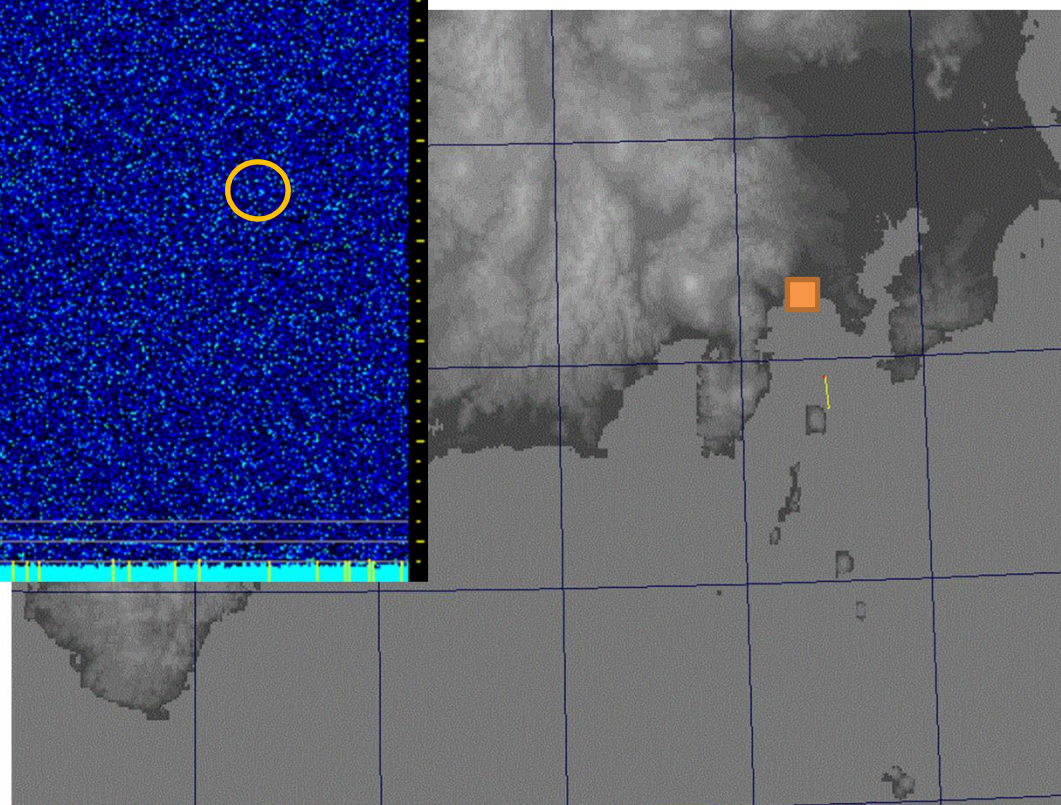
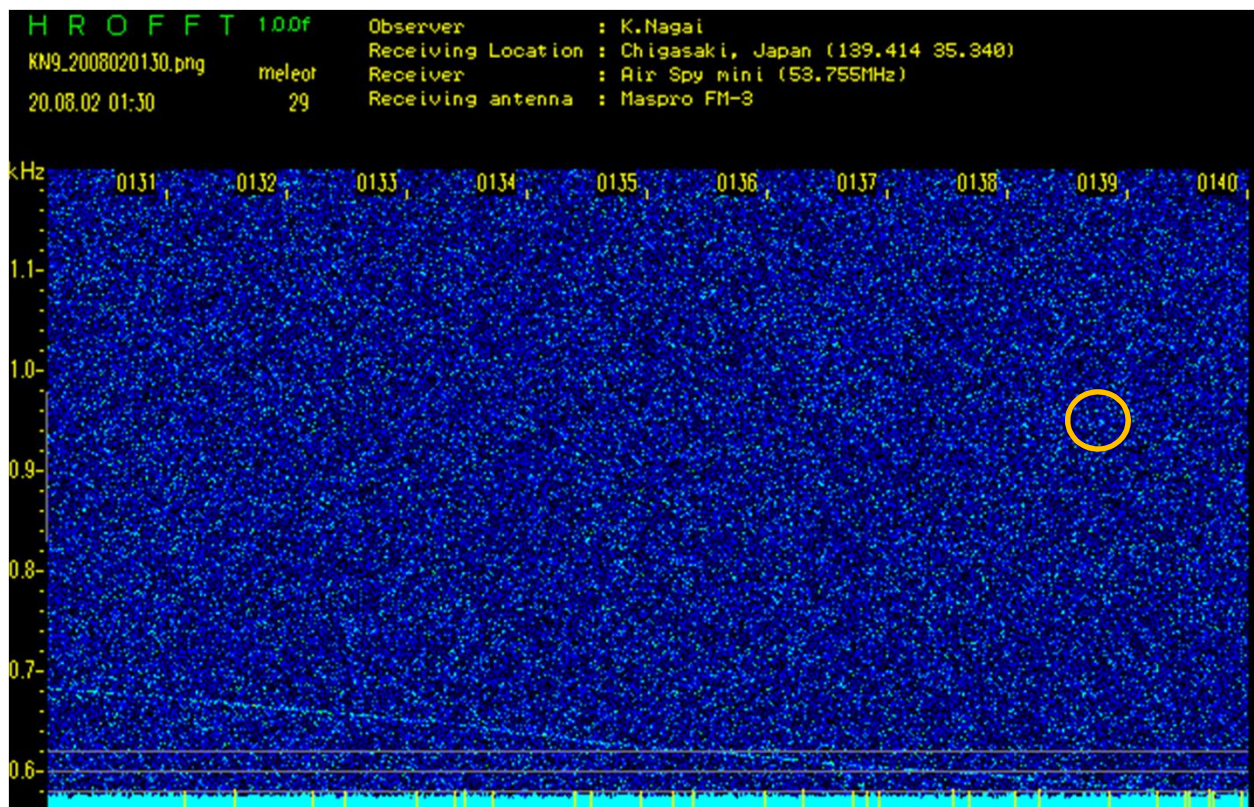
継続時間	エコー時間	stream	Amag	Vg	remarks
0.467	35	J5_Per	-2.12	51.8	LONGエコー





# 電波20200802\_013920 光学20200802\_013900

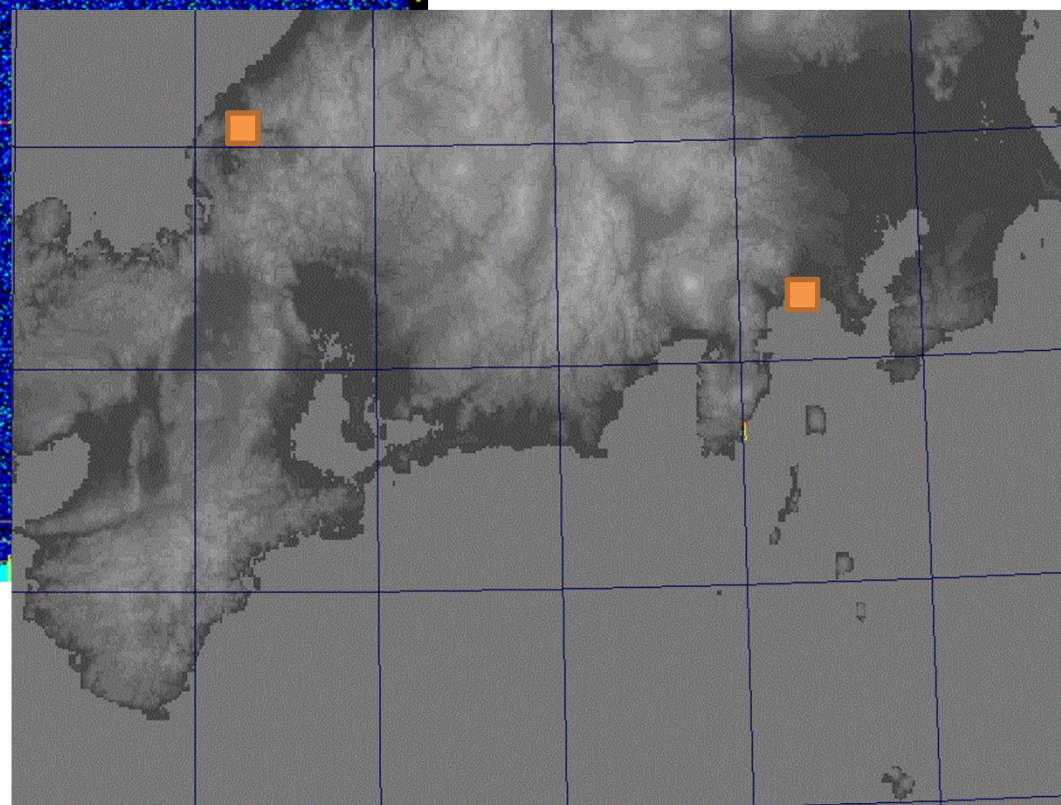
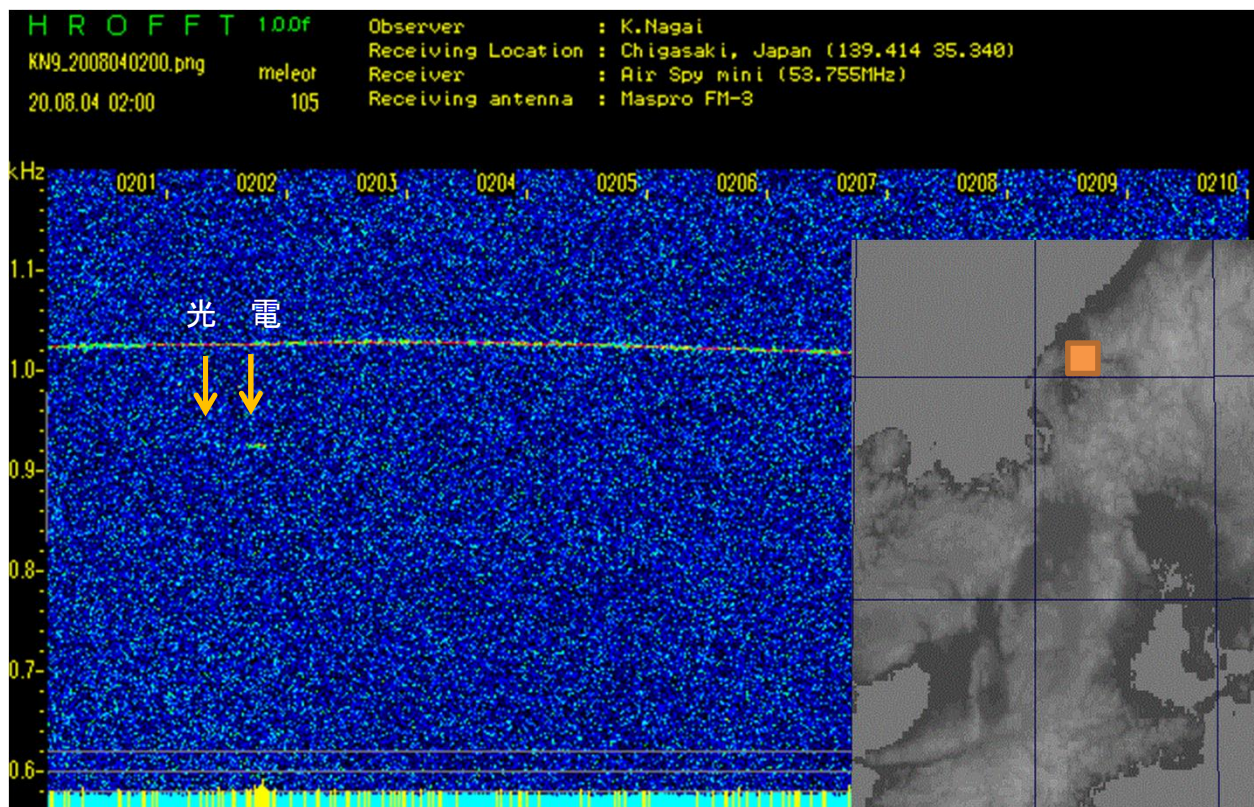
継続時間	エコー時間	stream	Amag	Vg	remarks
0.501	8	J5_sdA	1.90	40.7	たぶん同じ流星





# 電波20200804\_020139 光学20200804\_020102

継続時間	エコー時間	stream	Amag	Vg	remarks
0.279823	29	J5_sdA	1.15	35.1	LONGエコー、違うかも

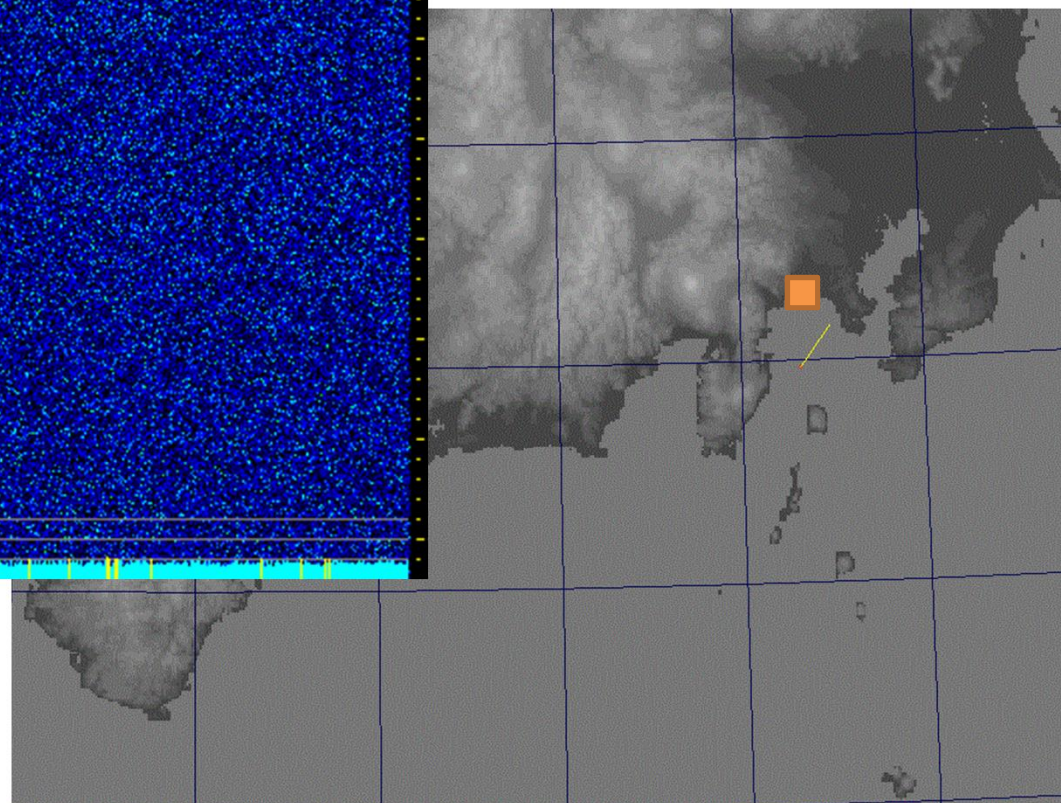
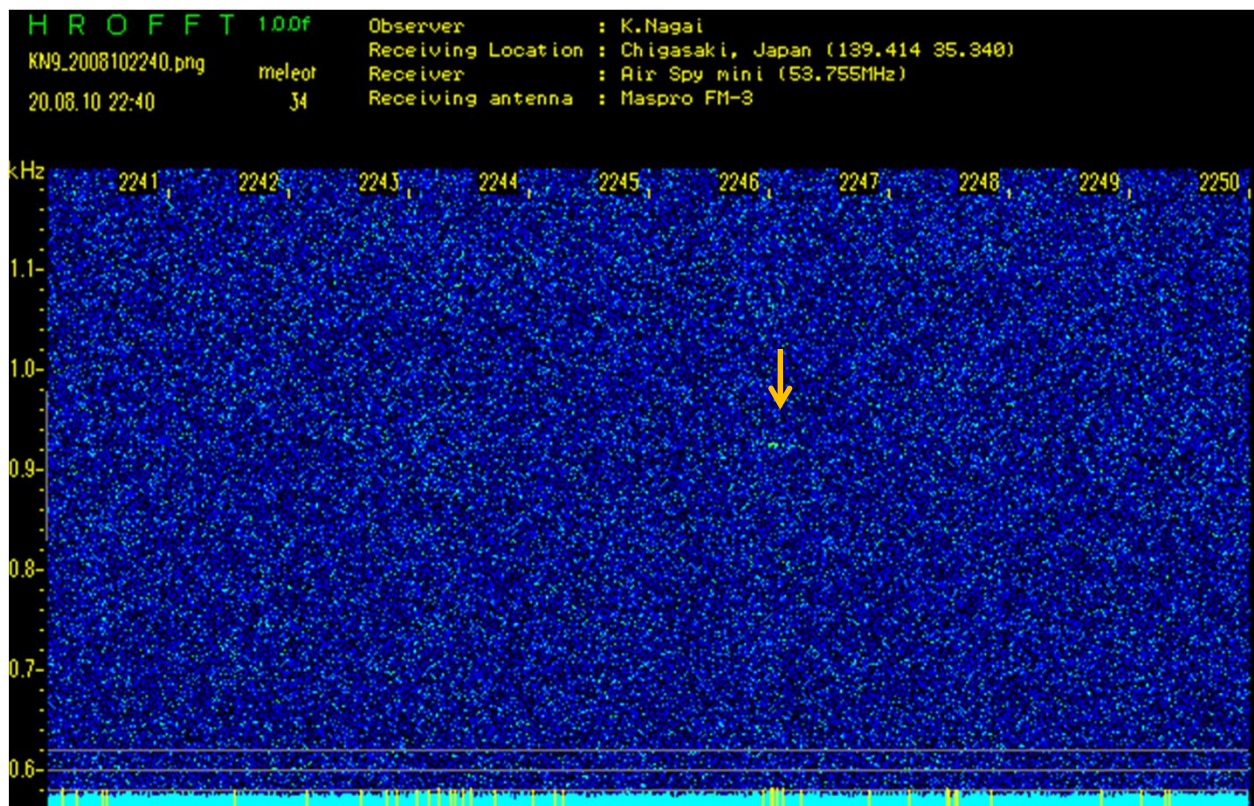


時差大きい



# 電波20200810\_224556 光学20200810\_224548

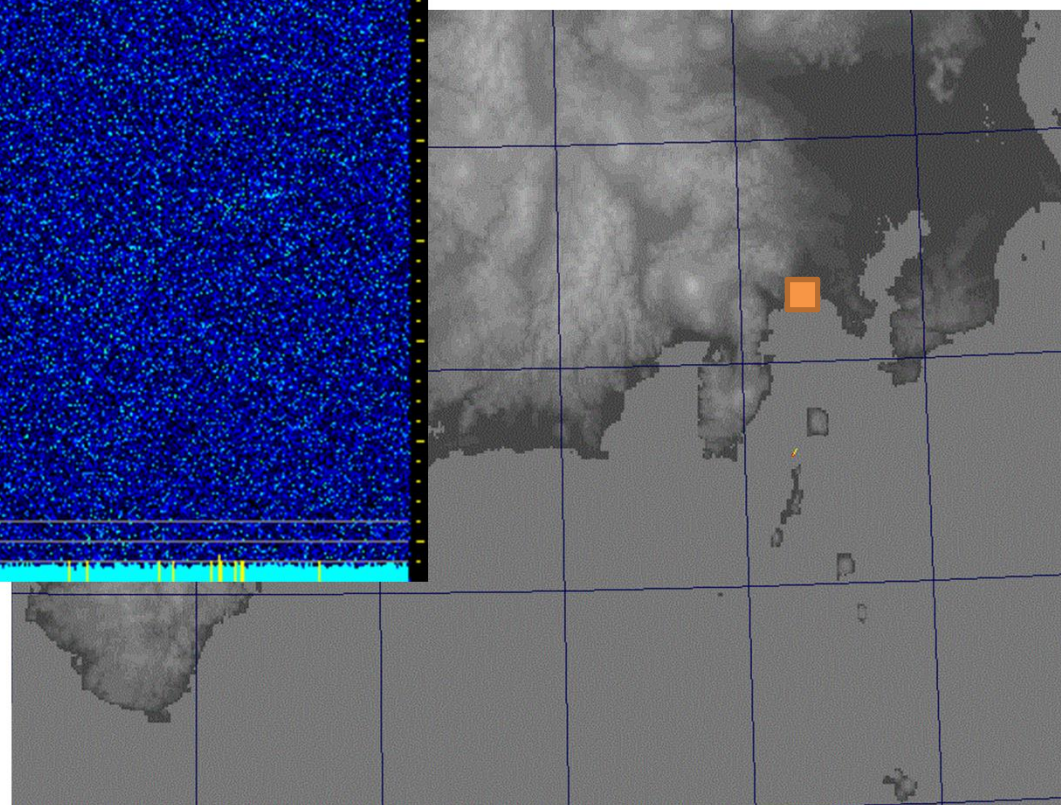
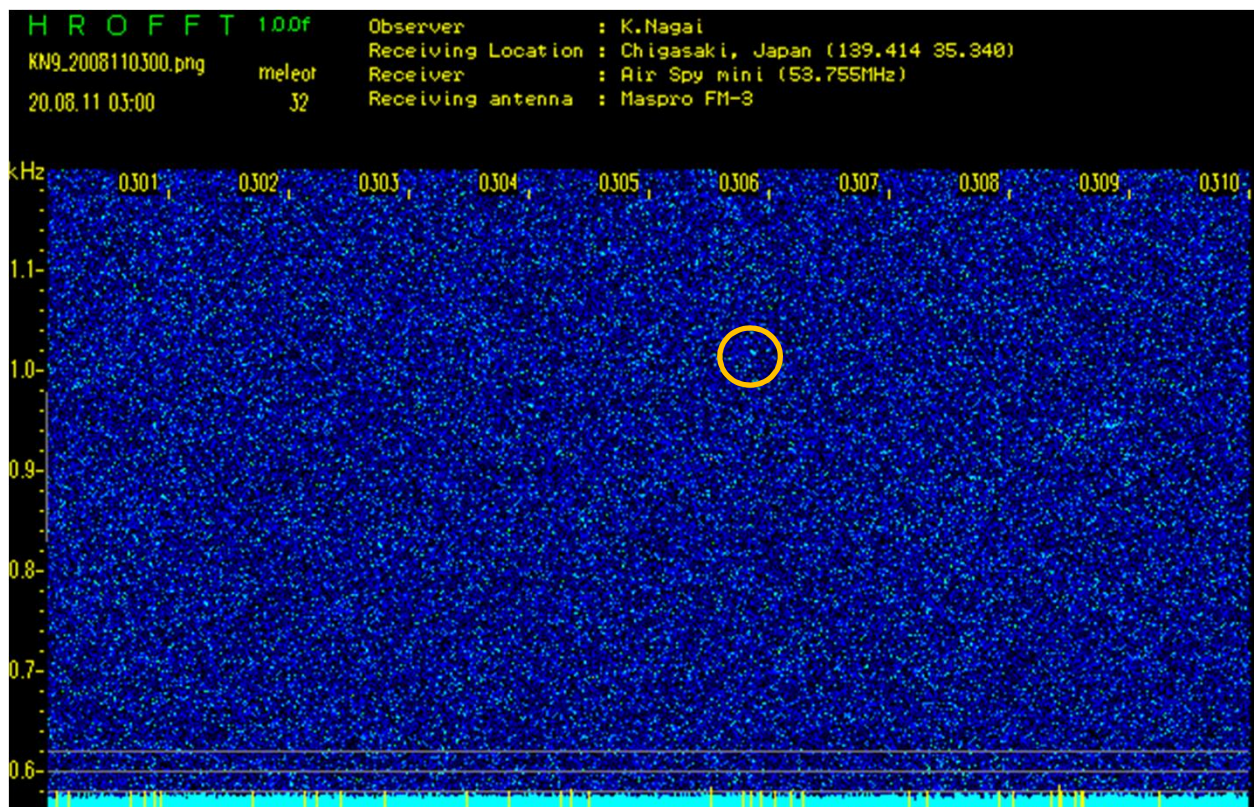
継続時間	エコー時間	stream	Amag	Vg	remarks
0.467	23	J5_Per	-1.18	48.9	LONGエコー





# 電波20200811\_030529 光学20200811\_030545

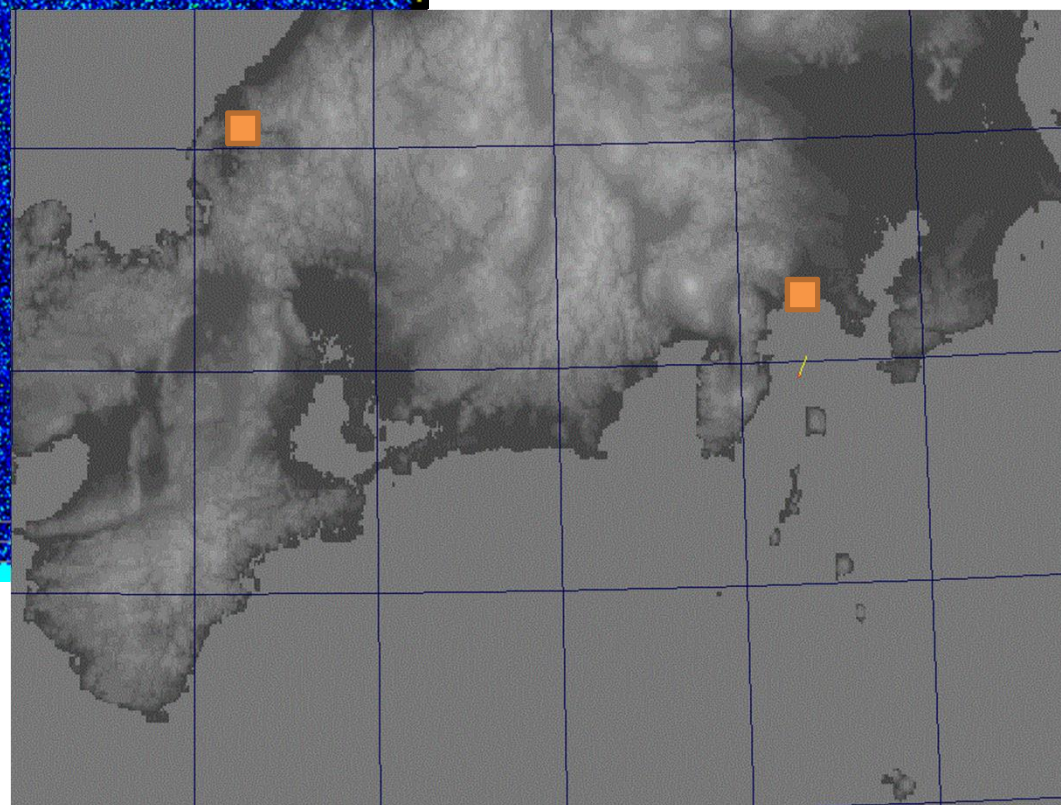
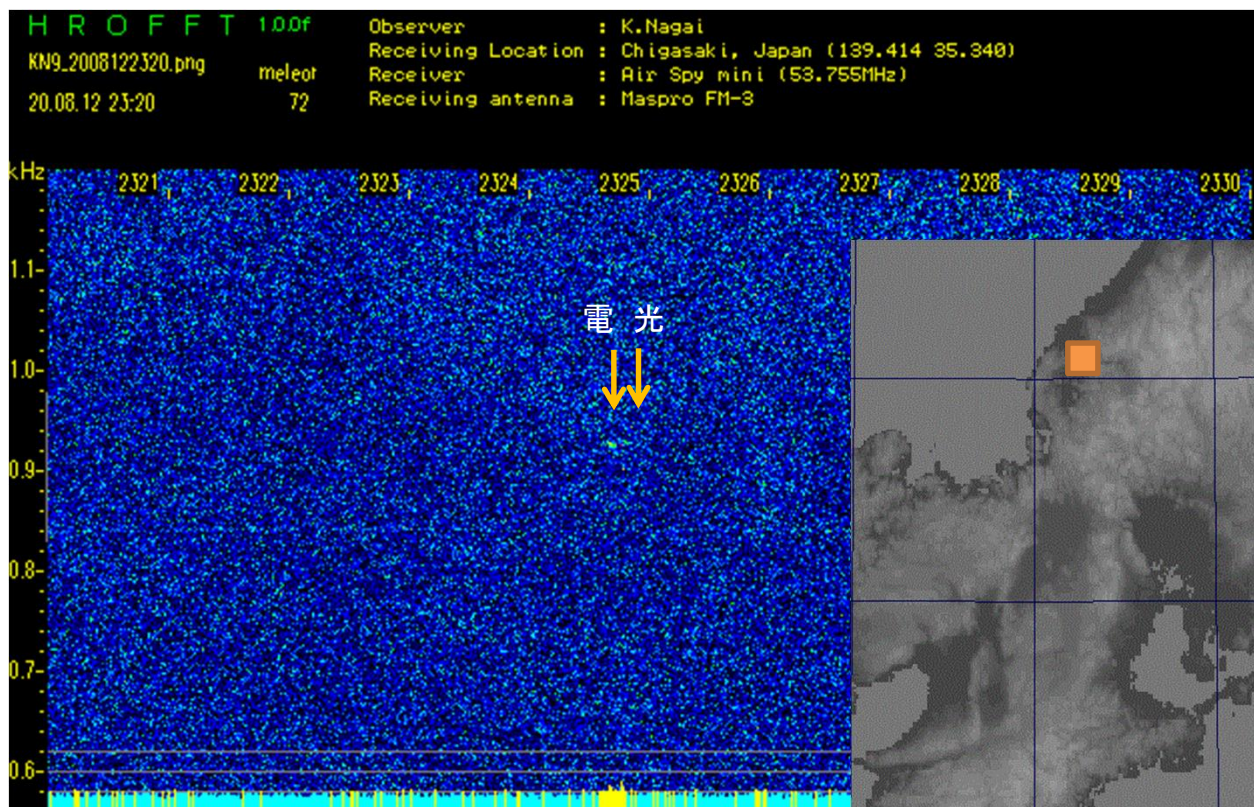
継続時間	エコー時間	stream	Amag	Vg	remarks
0.1	1	spo	1.60	51.3	同じ流星かも知れない





# 電波20200812\_232440 光学20200812\_232507

継続時間	エコー時間	stream	Amag	Vg	remarks
0.567	12	spo	-0.98	41.2	電波の方が先に検出、時刻は似ている

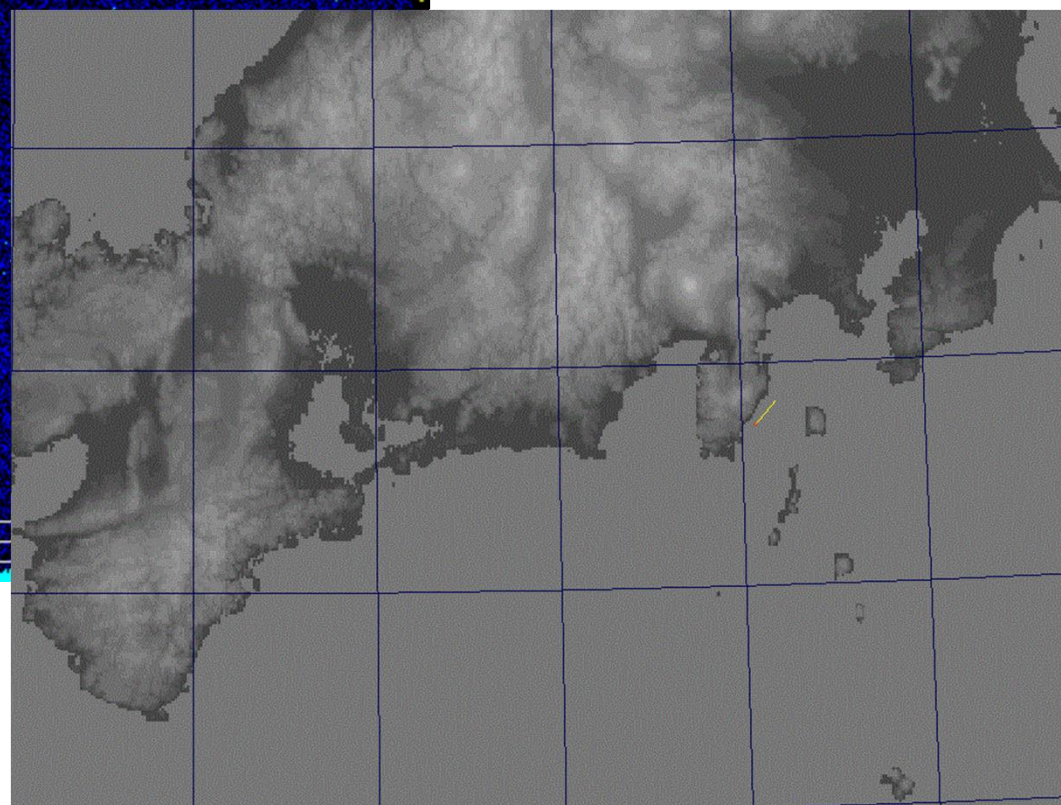
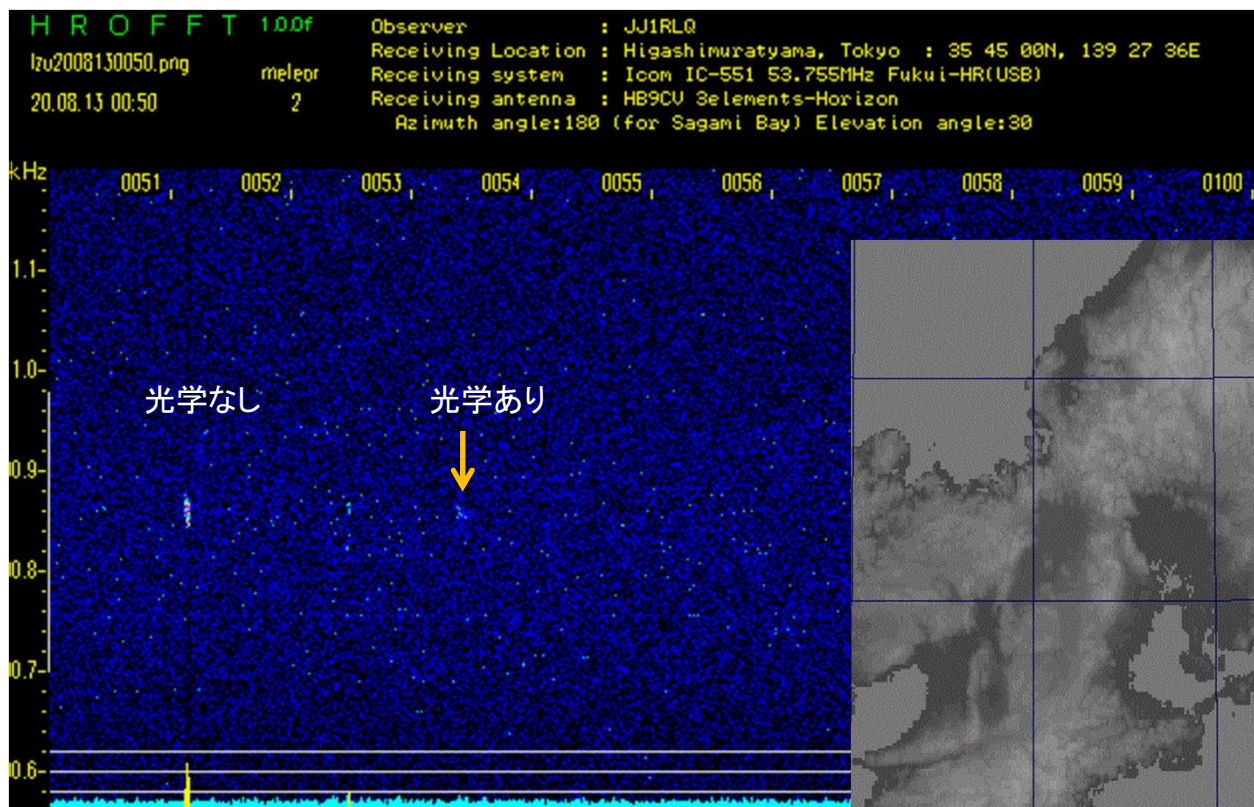


同時は二つ目のエコーか？



# 電波20200813\_005336 光学20200813\_005343

継続時間	エコー時間	stream	Amag	Vg	remarks
0.35	1	J5_Per	0.85	58.0	

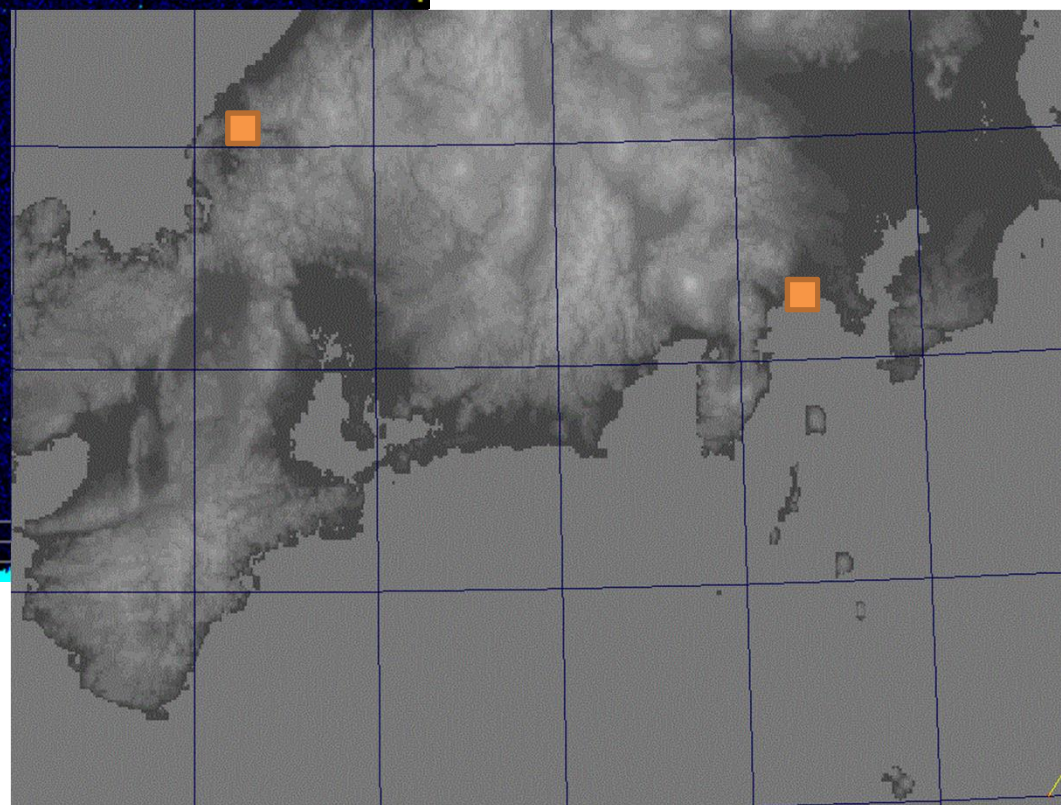
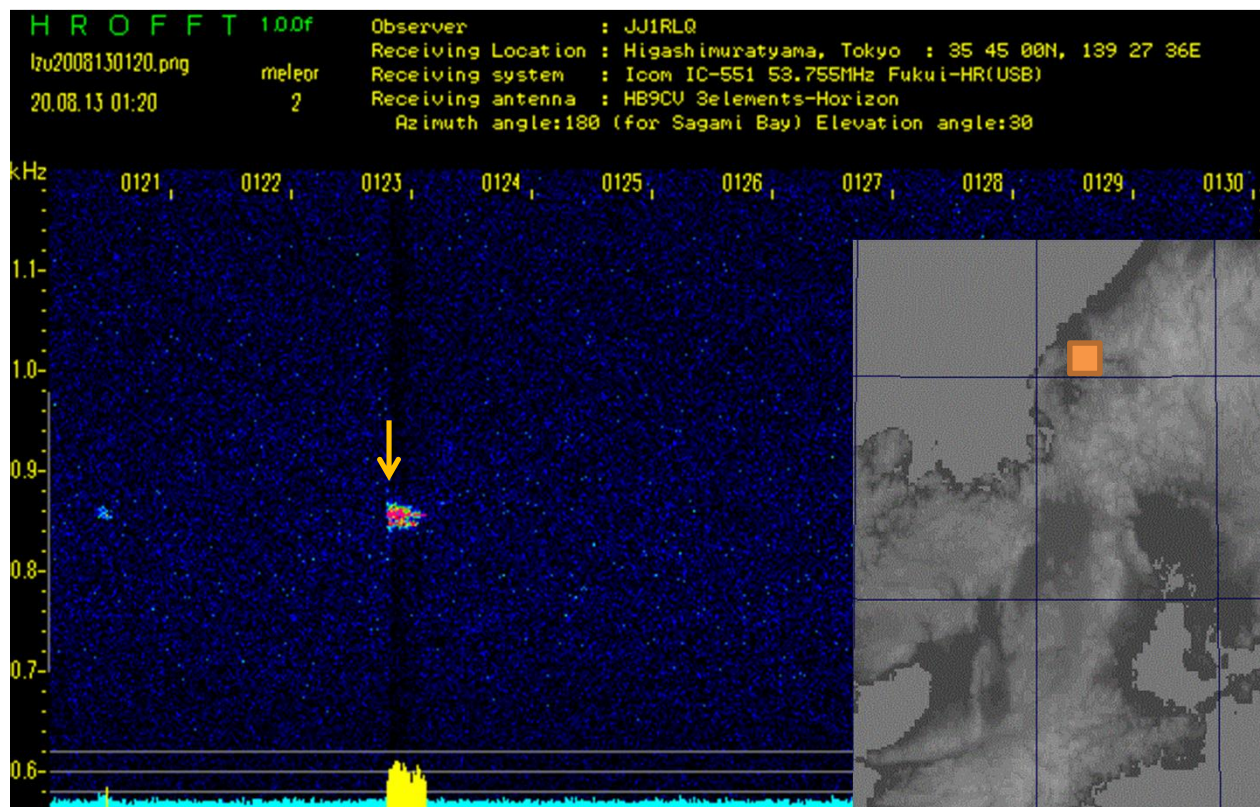


茅ヶ崎は波長が異なりノイズか？  
東村山は検出出来ている



# 電波20200813\_012254 光学20200813\_012315

継続時間	エコー時間	stream	Amag	Vg	remarks
0.330018	7	J5_Per	-1.47	58.8	同じ流星かも知れない、断続的なLONGエコー

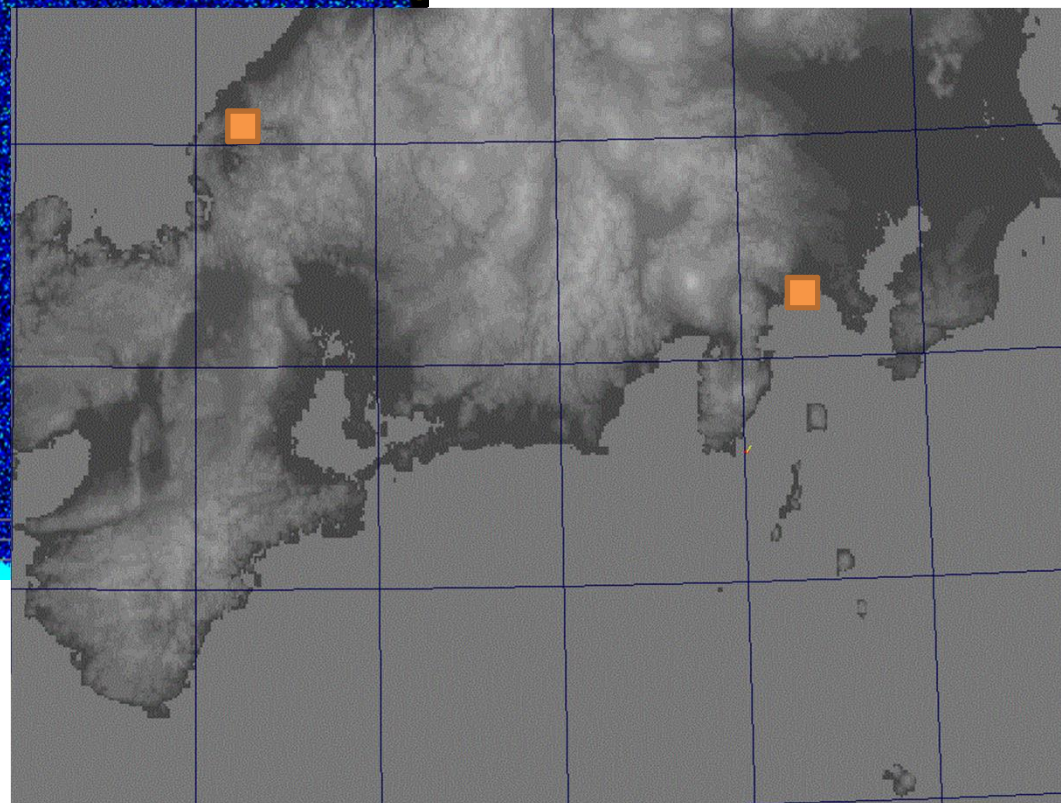
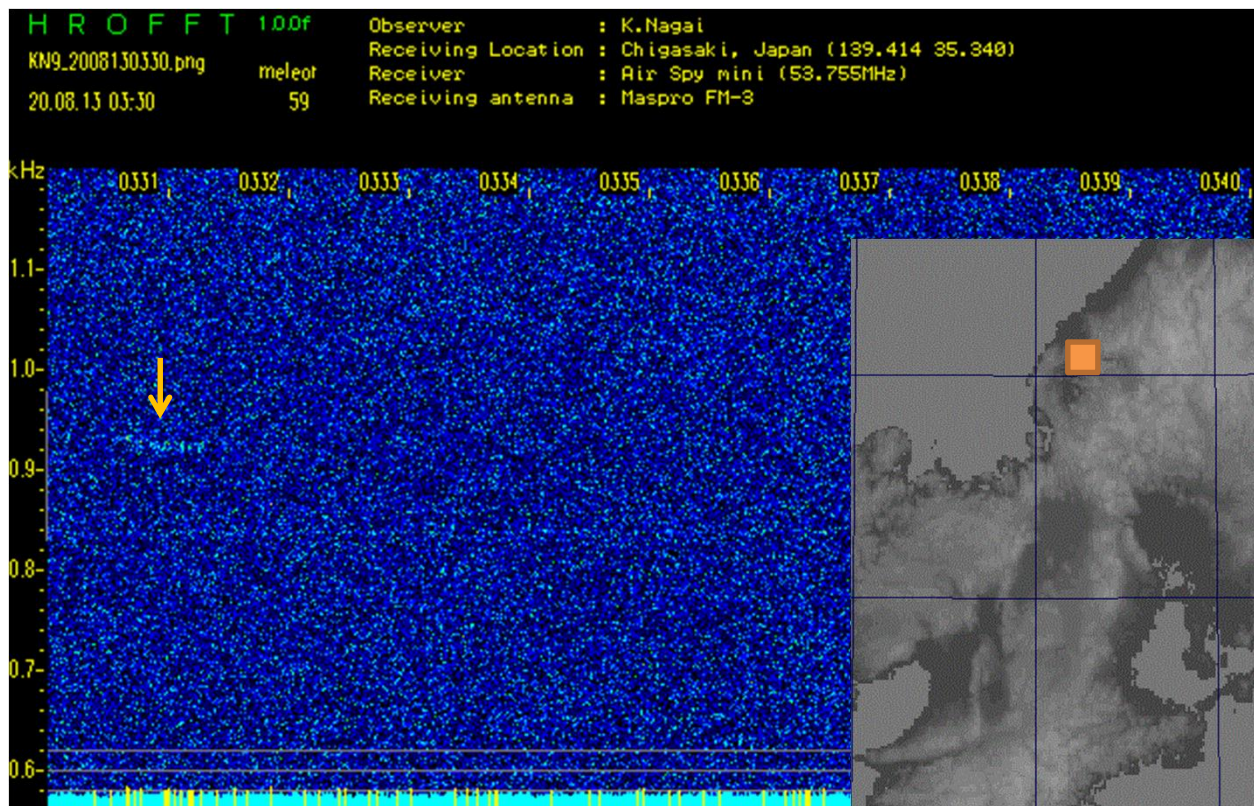


光学と電波で時間差があるが  
東村山は光学と一致する



# 電波20200813\_033042 光学20200813\_033022

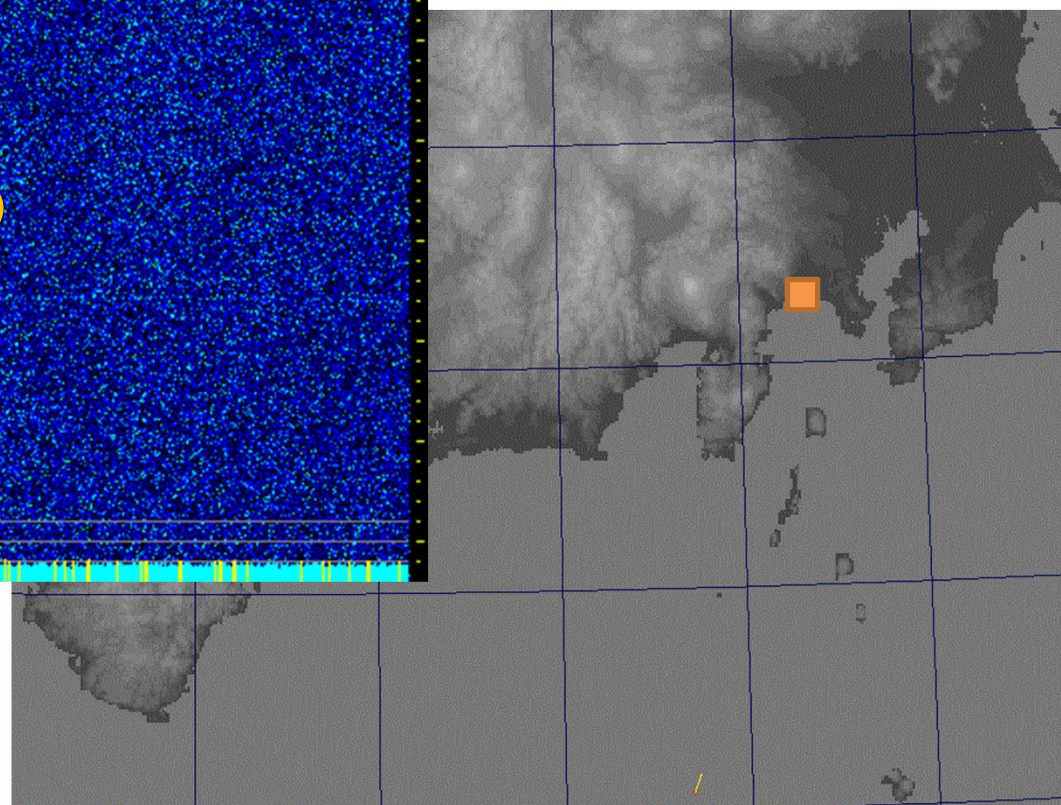
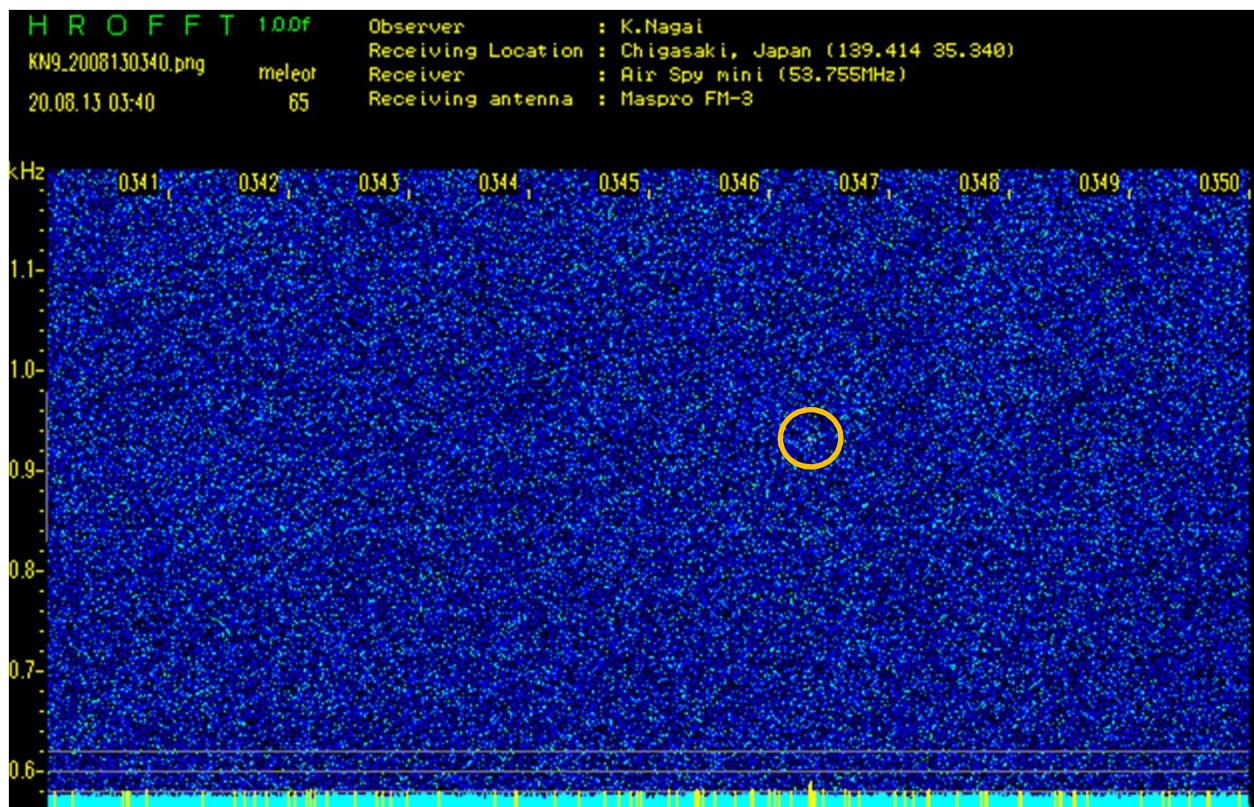
継続時間	エコー時間	stream	Amag	Vg	remarks
0.1	39	J5_Per	-2.61	51.1	LONGエコー、分光あり





# 電波20200813\_034623 光学20200813\_034627

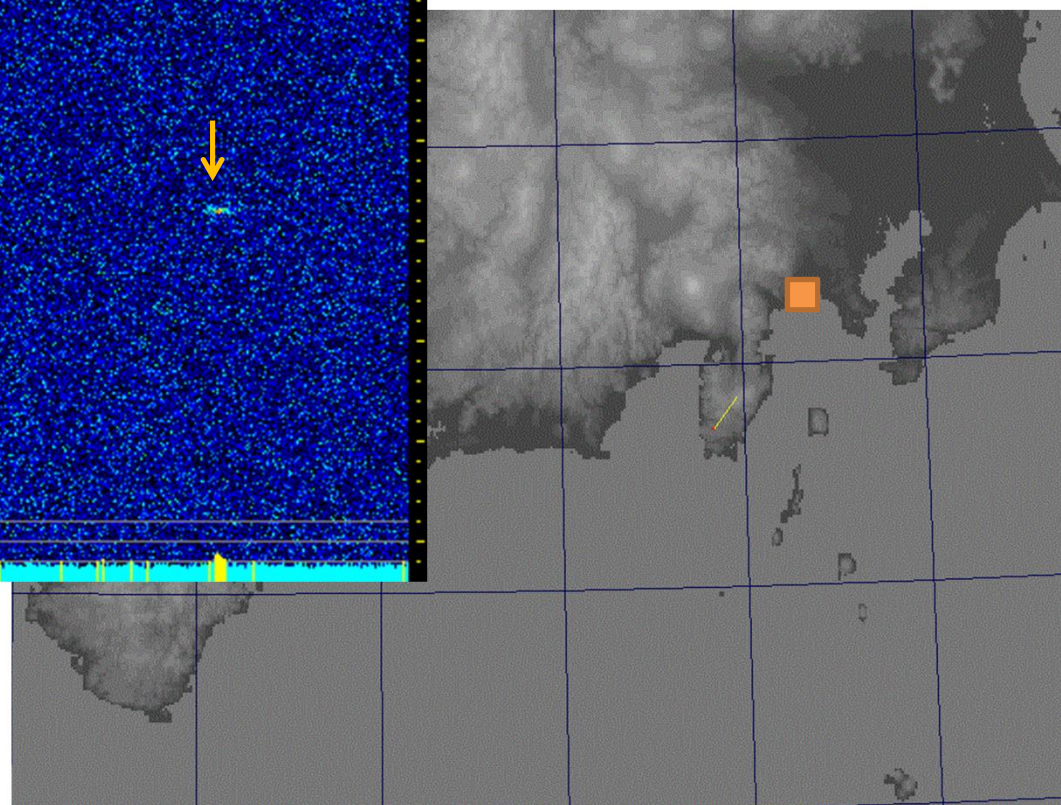
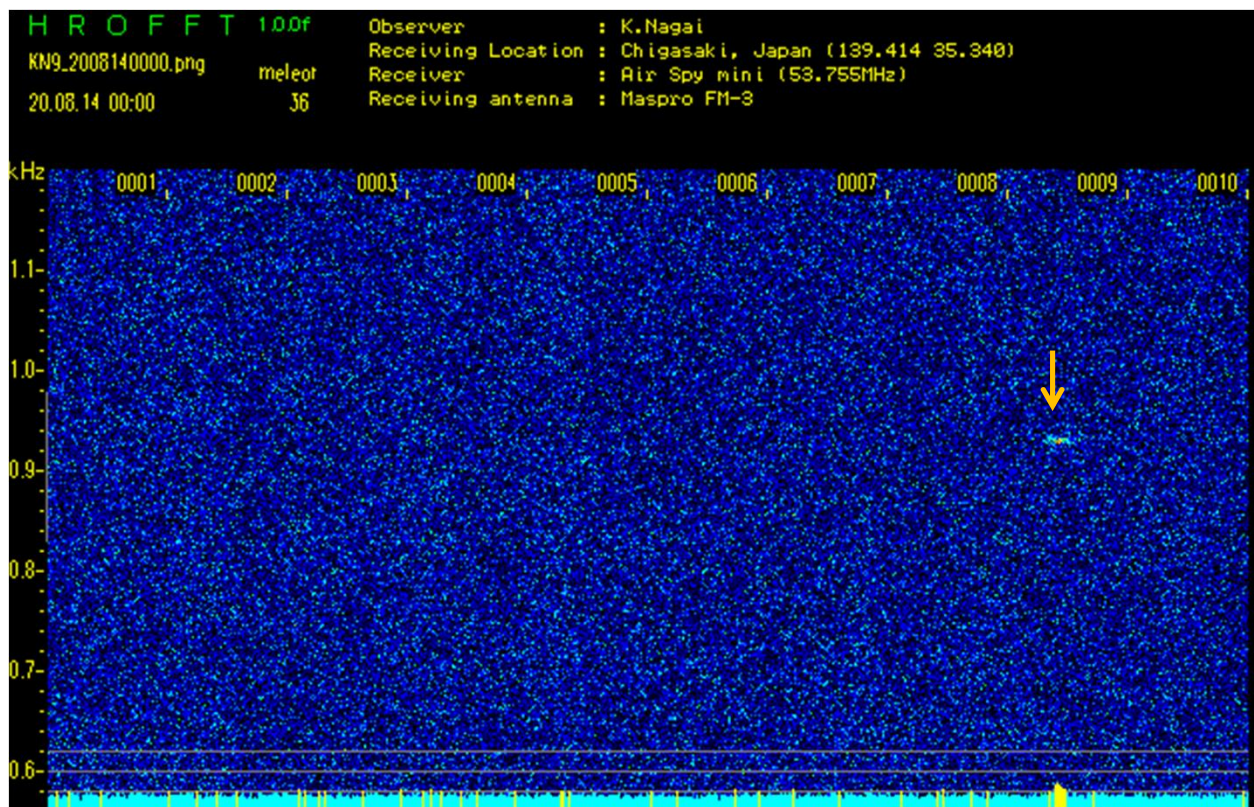
継続時間	エコー時間	stream	Amag	Vg	remarks
0.2	1	spo	-0.35	63.5	





# 電波20200814\_000819 光学20200814\_000815

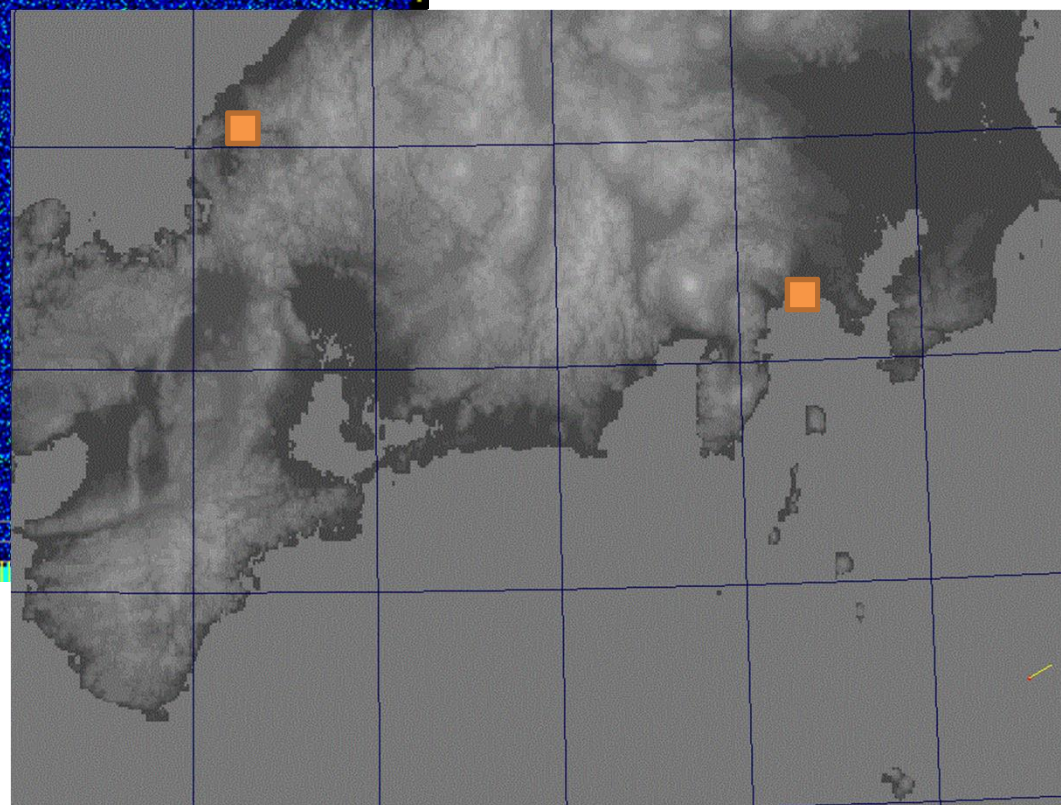
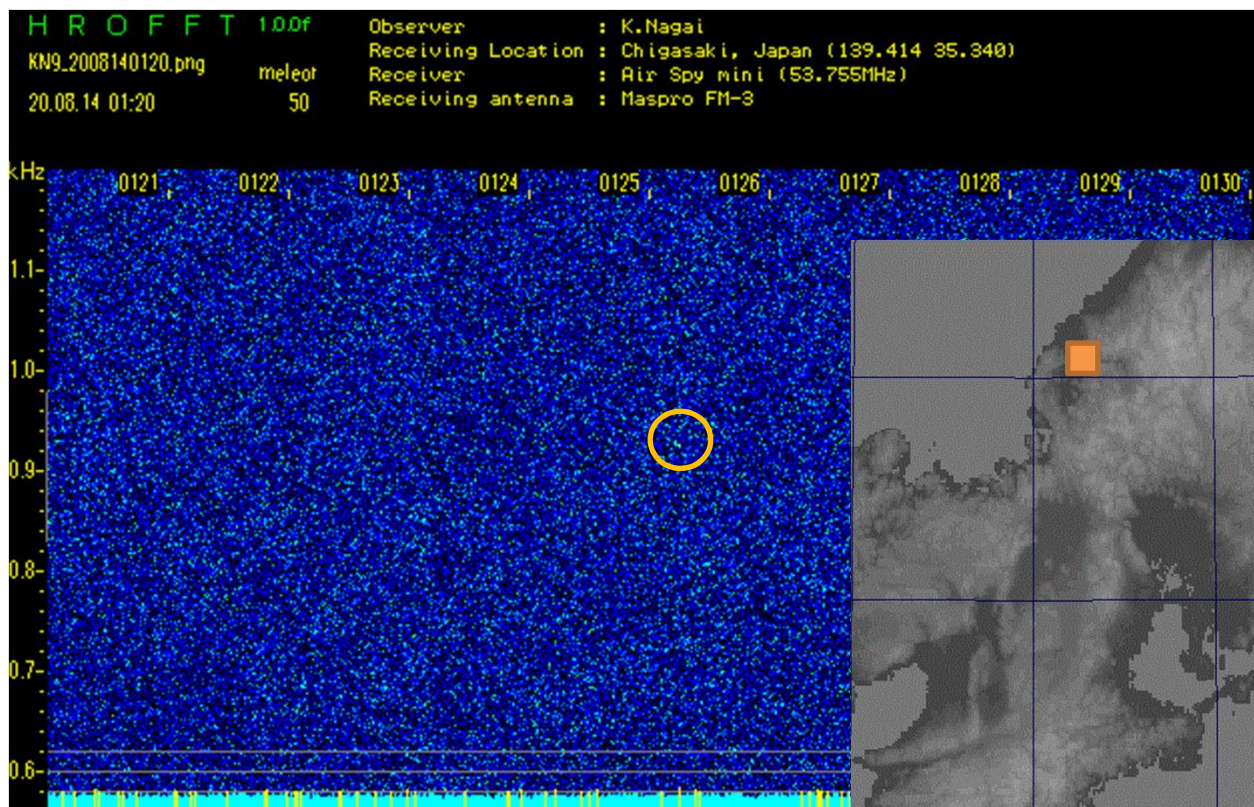
継続時間	エコー時間	stream	Amag	Vg	remarks
0.4	16	J5_Per	-0.82	53.8	LONGエコー





# 電波20200814\_012517 光学20200814\_012509

継続時間	エコー時間	stream	Amag	Vg	remarks
0.359706	10	spo	-1.50	63.7	たぶん、同じ流星

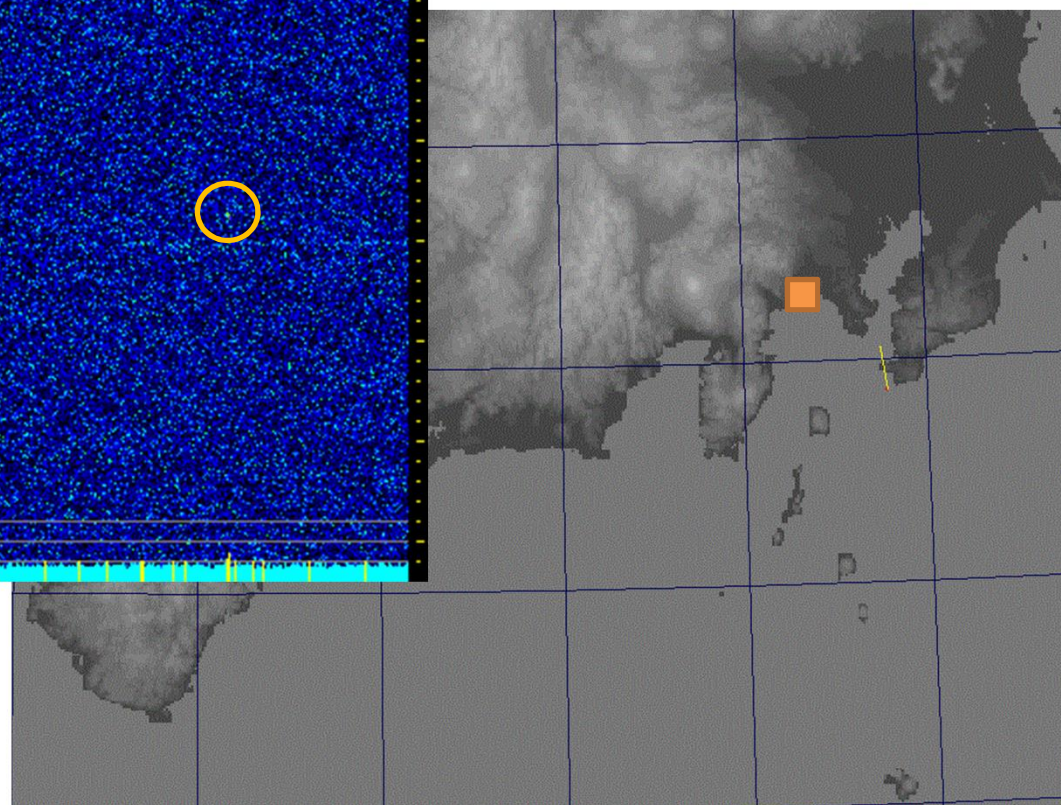
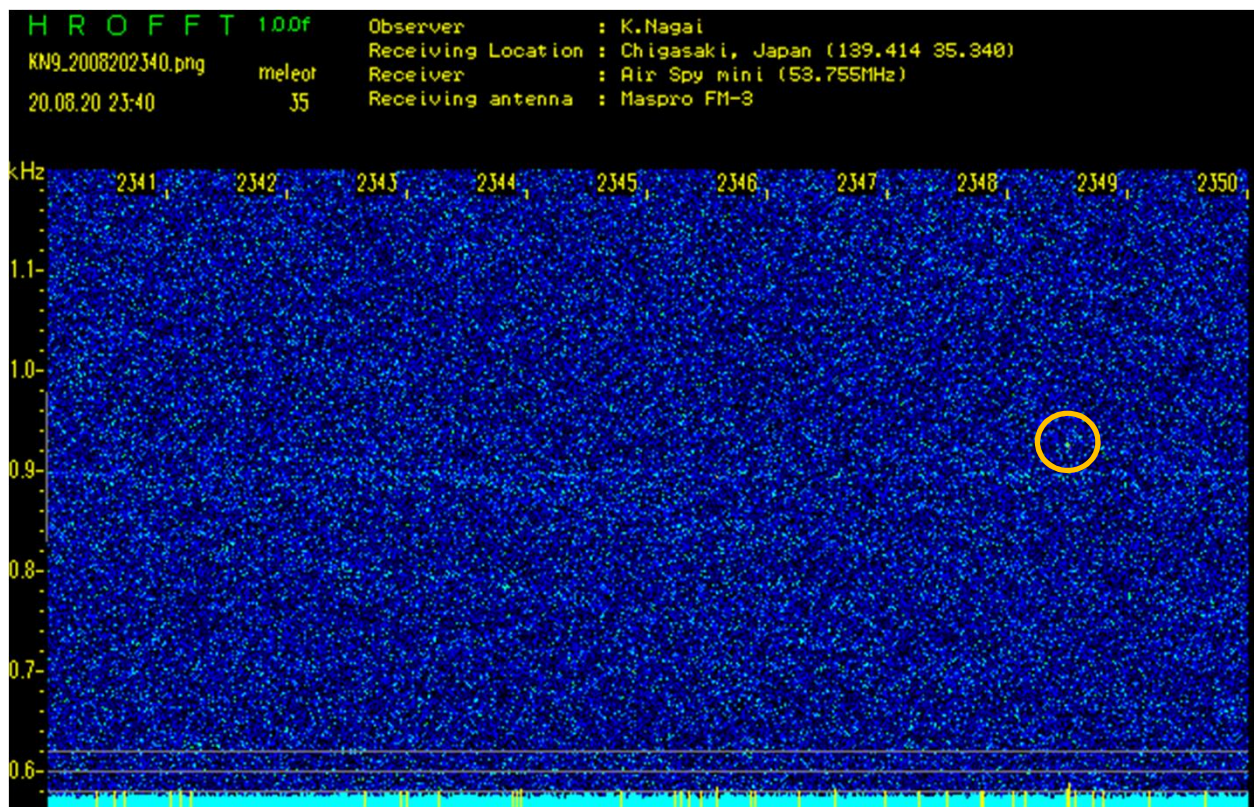


東村山も確認したかったが、確認が遅れて電波エコーライブには無かった



# 電波20200820\_234831 光学20200820\_234828

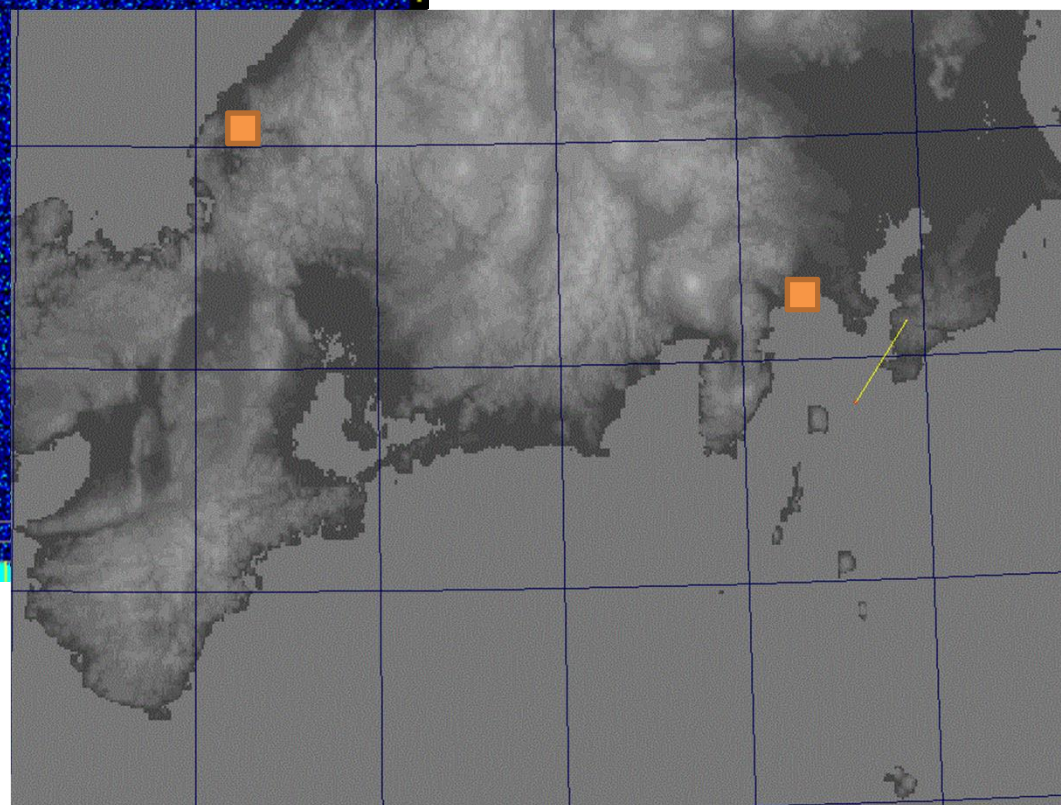
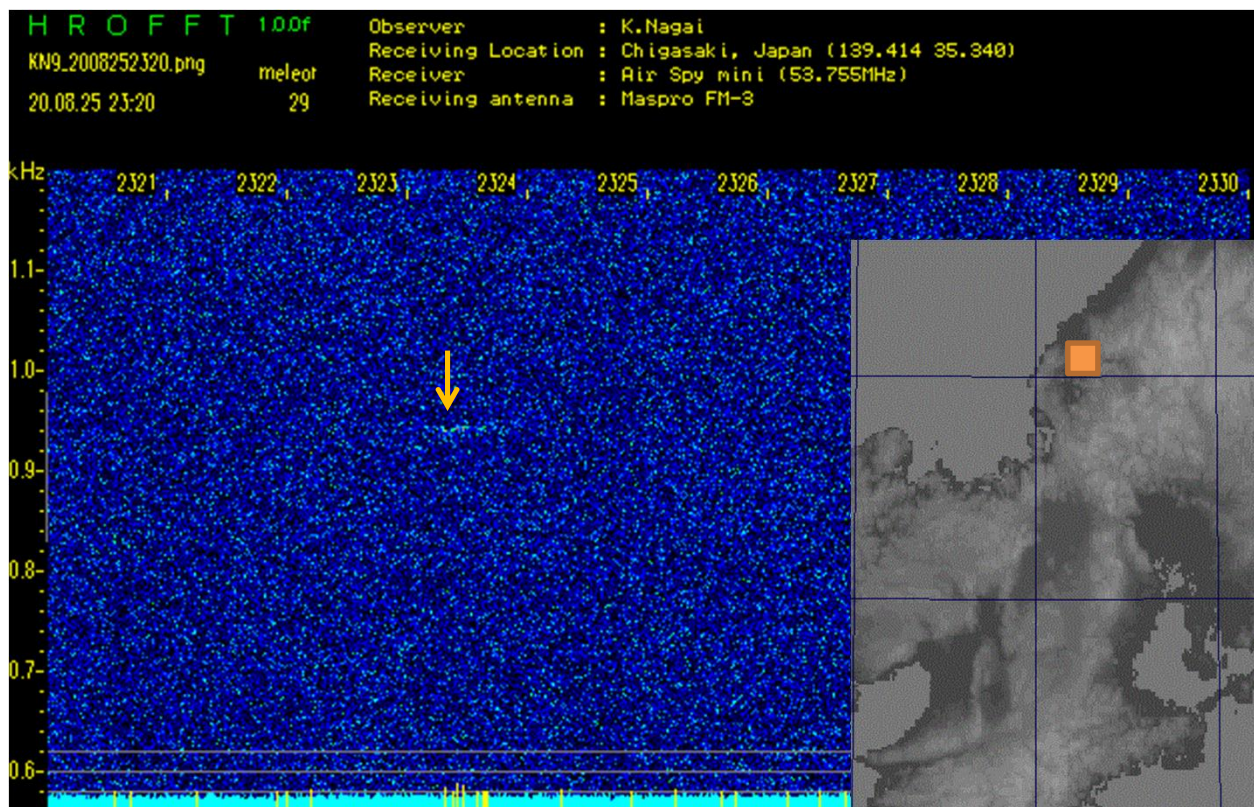
継続時間	エコー時間	stream	Amag	Vg	remarks
0.734	1	spo	0.00	35.5	





# 電波20200825\_232310 光学20200825\_232301

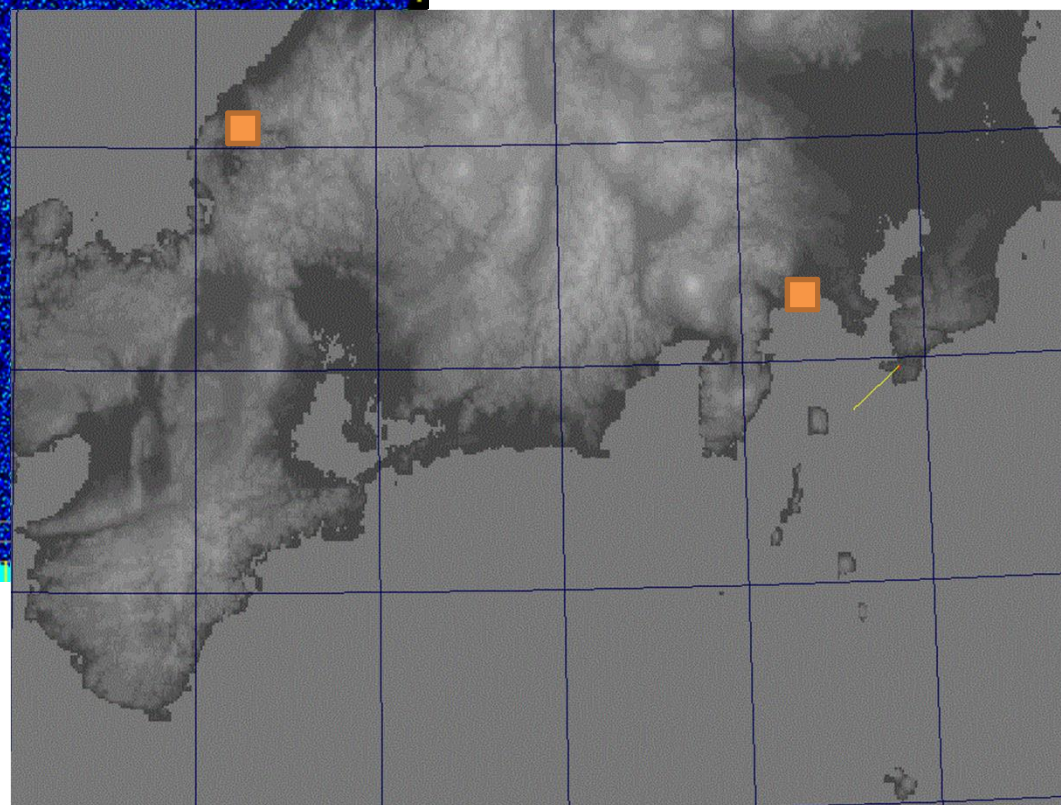
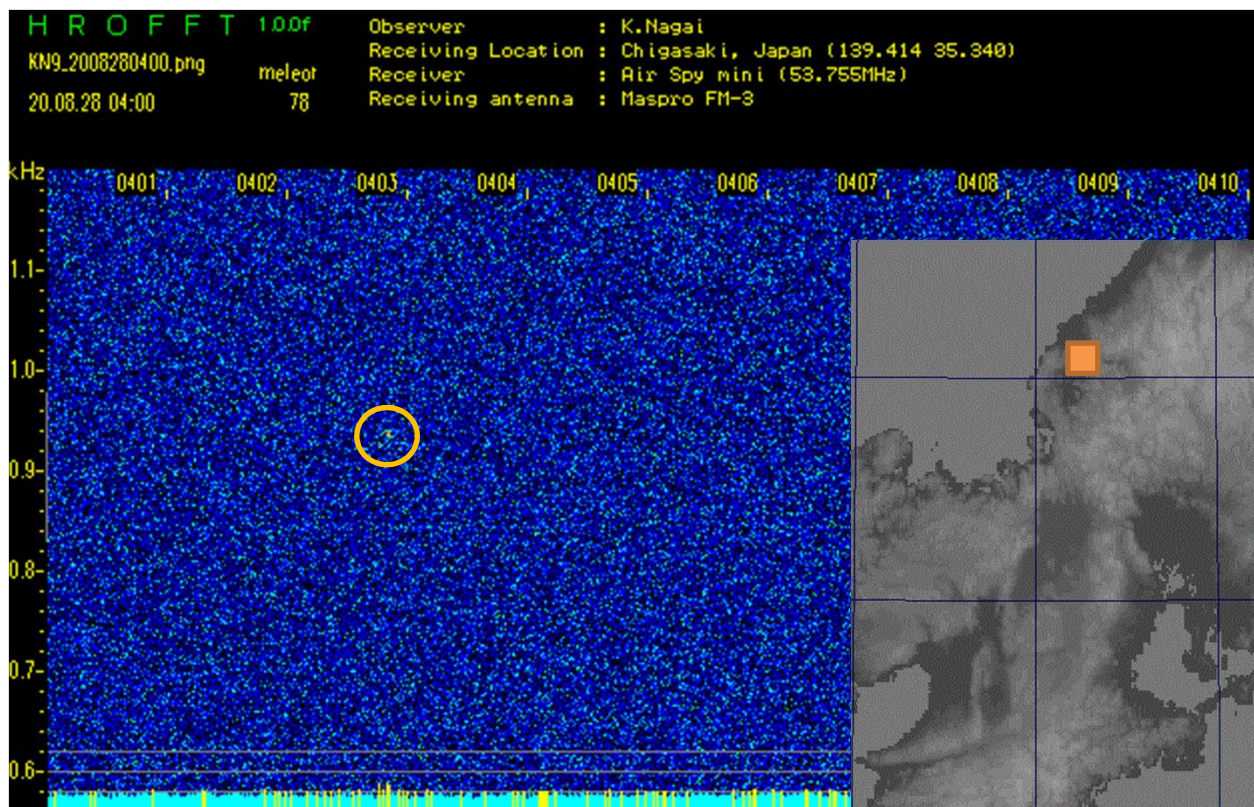
継続時間	エコー時間	stream	Amag	Vg	remarks
0.834	41	spo	-2.51	57.3	LONGエコー





# 電波20200828\_040247 光学20200828\_040243

継続時間	エコー時間	stream	Amag	Vg	remarks
0.968	7	spo	-0.15	37.8	



# 全国の電波と光学の観測

- 広域観測でも同じ結果になるか？
- 全国の電波観測を集計
  - 7月8月の電波エコーを調査したかったが
  - webのlive画像は数日分しかなく
  - この解析を開始した9月上旬の電波エコーを調べた。
  - 期間は 9/4 18:40- 9/5 04:40 のエコーを抽出
- 全国の光学観測を集計
  - SonotaCo netよりダウンロード
  - 期間は 9/4 18:40- 9/5 04:40の観測を解析する

# SonotaCo net TV観測者

ak2_T1	MZ1_HZ	osaka01_02	Saitama1_SP
ak3_T3	NARA03_85	Osaka03_06	Saitama1_w6
Hyogo3_1	Nara03_Gi	Osaka03_12	Saitama1_wa
IS1_	NARA03_W6	Osaka03_4w	Saitama1_Z6
IS2_N	Niigata2_2	Osaka03_6S	TK8_G5
IS2_S	Niigata2_e_6	Osaka04_24	TK8_G8
IS2_SE	Niigata2_n_1	Osaka04_50	TK8_P6
IS2_W	Niigata2_s_4	Osaka04_6N	TK8_PZ
IS5_E	Niigata2_s_HD	Osaka04_85	TK8_S4
IS5_N	Niigata2_w_5	Osaka04_DM	TK8_S5
IS5_S	Niigata2_z_3	Osaka04_NE	TK8_S6
IS5_SW	NN4_FE	Osaka04_W6	TK8_S9
IS5_W	NN4_s0	Saitama1_a3	TK8_U1
kagawa1_N	NN4_w0	Saitama1_a7	TK8_U7
kagawa1_NE	NN5_T1	Saitama1_E6	TK8_u9
MG2_T1	Okayama1_	Saitama1_N6	TKB_1
MZ1_E5	Okayama4_	Saitama1_S1	TKB_2
MZ1_HH	osaka01_01	Saitama1_SL	

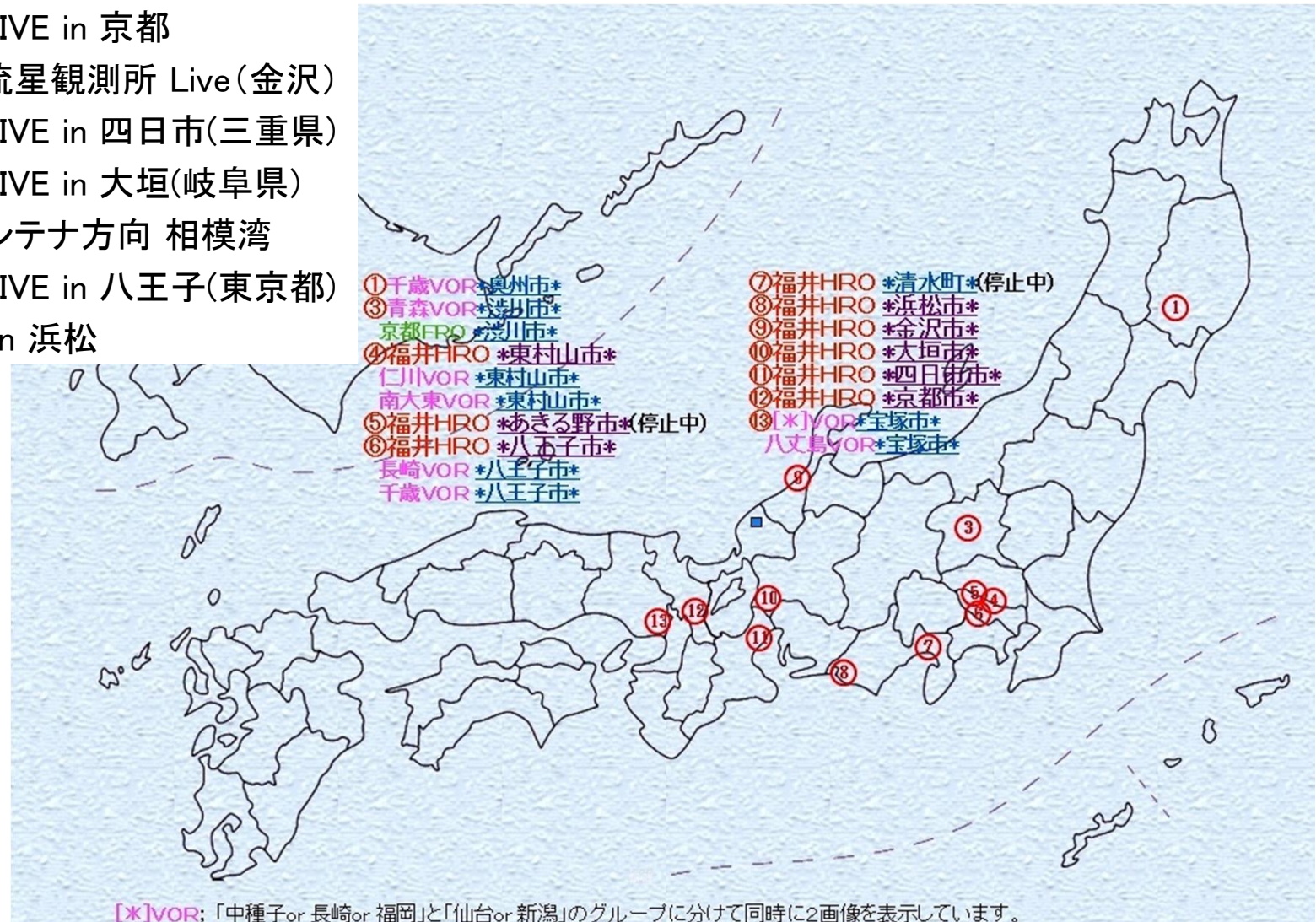


# HRO電波観測者

※集計の都合で2文字の観測地コードを付けました

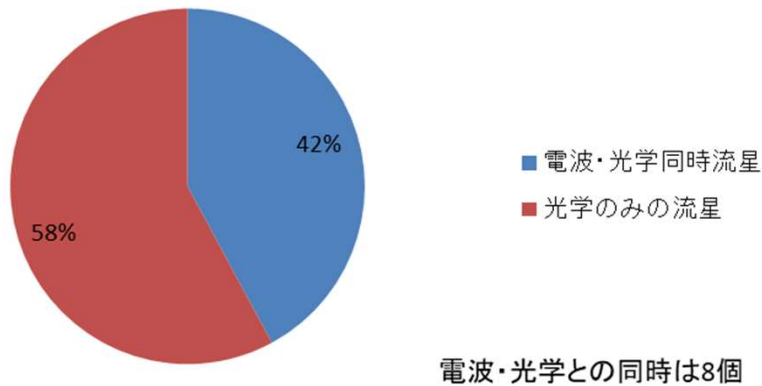
- KT , 福井HRO LIVE in 京都
- XX , Lacofilms 流星観測所 Live(金沢)
- Y0 , 福井HRO LIVE in 四日市(三重県)
- OG , 福井HRO LIVE in 大垣(岐阜県)
- IZ , 東村山, アンテナ方向 相模湾
- HC , 福井HRO LIVE in 八王子(東京都)
- HM , HRO LIVE in 浜松

7拠点

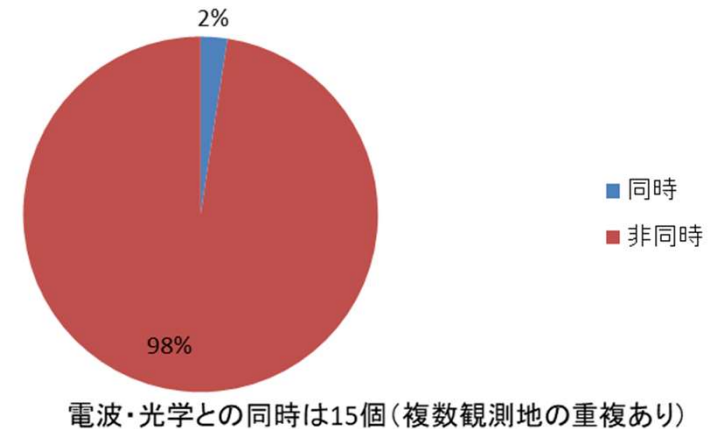


# 検出数

光学19個中、電波と同時の比率



夜の電波618個中、光学との比率

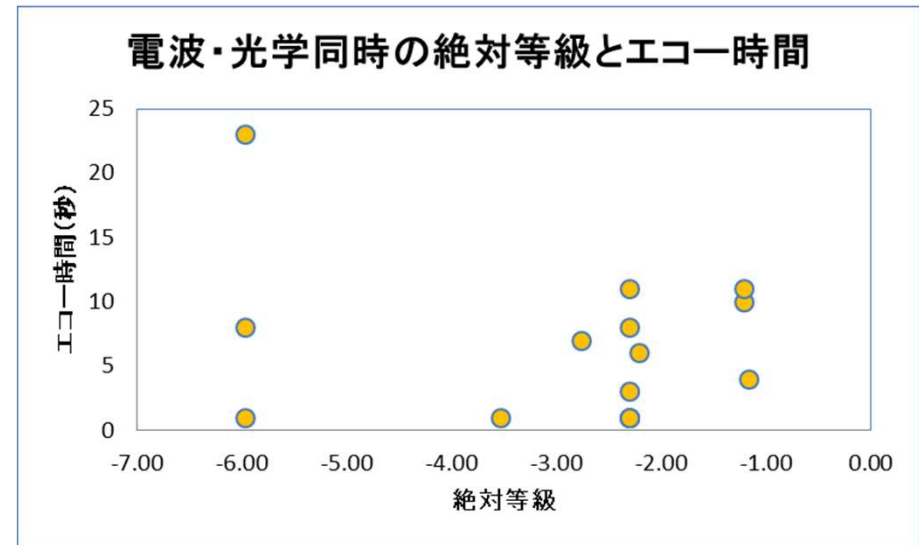
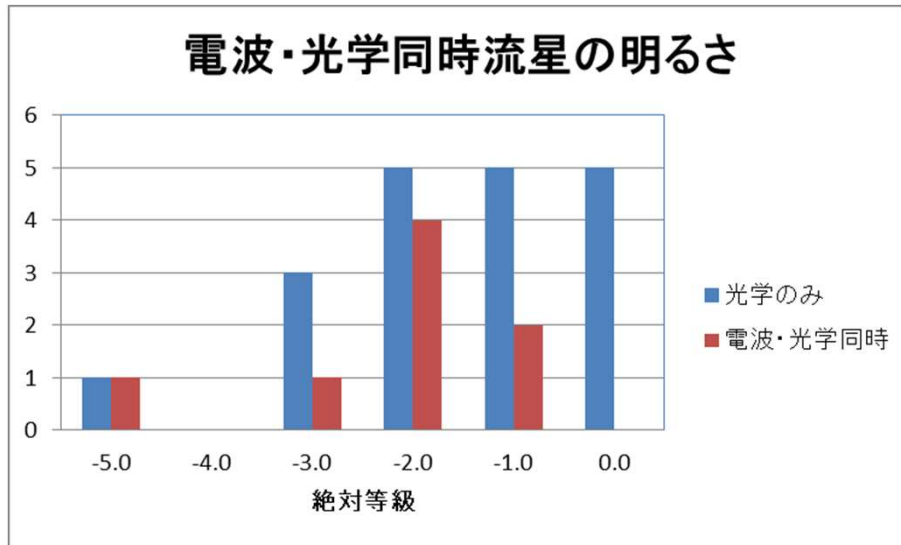


- 光学観測で軌道が求まった流星は19個(71台のカメラ)(UFO Orbit V2, Q0品質で解析)
- 天候の影響だったようです
- 夜間の電波エコーを618個検出(7か所の観測)
- 電波と同時は8個
- 電波と光学の同時流星は少なかった 先行研究と同じ結果
- 平博の2か月間の観測が15個、これに対して一晩で8個は多いと言える





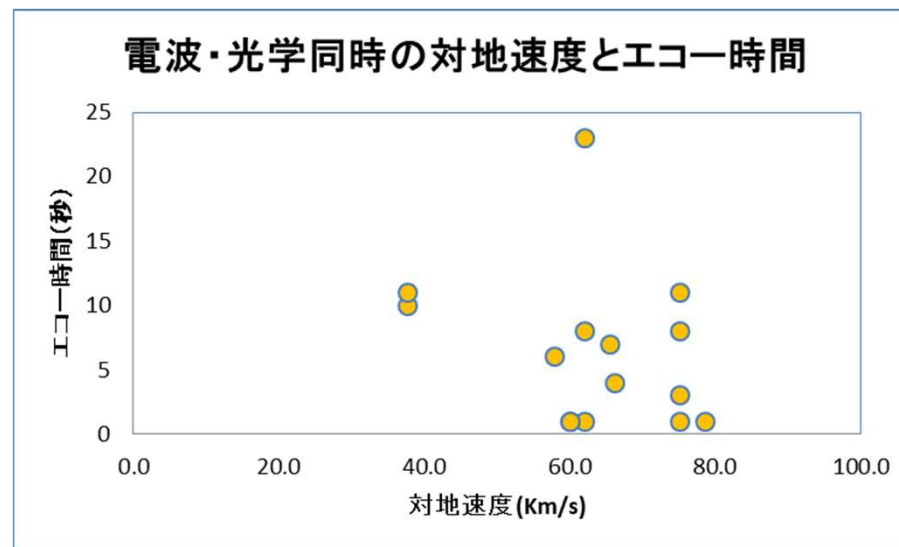
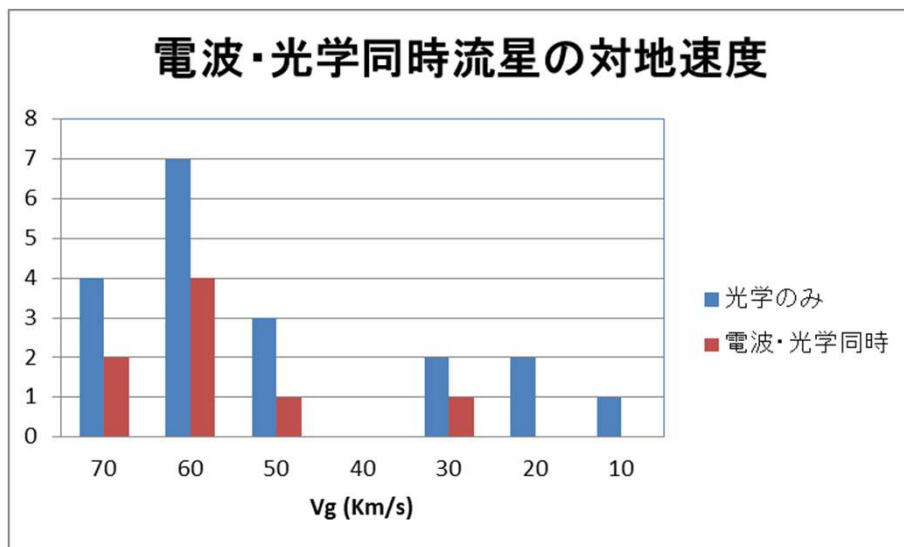
# 絶対等級の比較



- 多数の電波観測所のデータを用いていますので明るい流星のエコーは、おおむね半数は受信出来ています
  - それでも、明るい流星が必ずしも電波で検出されるわけではなさそう
- 複数の観測地のデータを混ぜていますので同じ流星でもエコー時間が異なり相関は調べられなかった

先行研究では特定の高度範囲で明るくなると強いエコーとされています

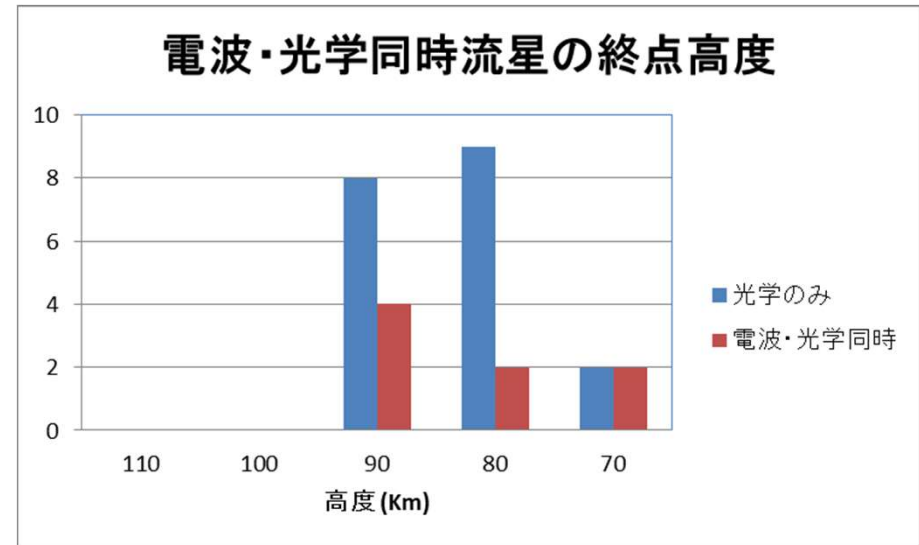
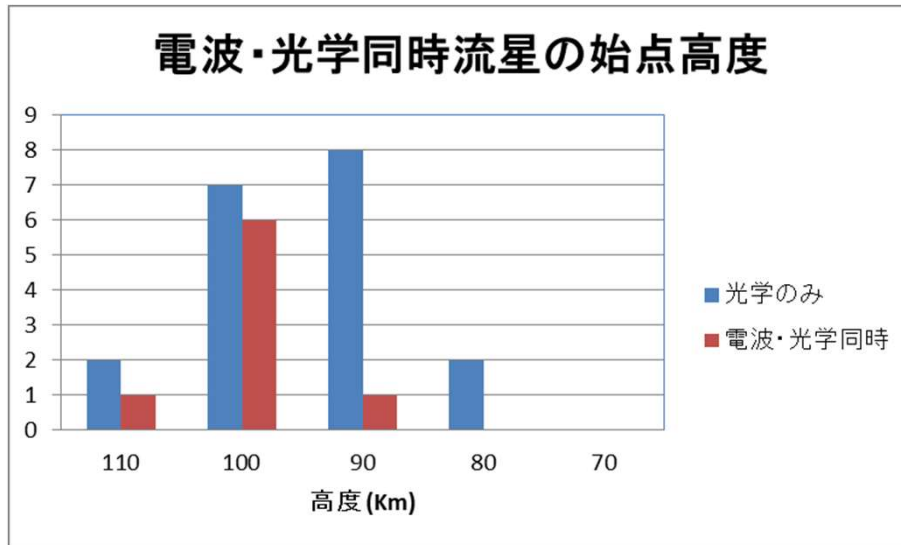
# 対地速度の比較



- 複数の観測地のデータを混ぜていいますので同じ流星でもエコー時間が異なり相関は調べられませんが、
- 単一の観測地のグラフも相関はありませんでした

先行研究では速度が遅い方が電波光学同時流星が多いとされている

# 高度の比較

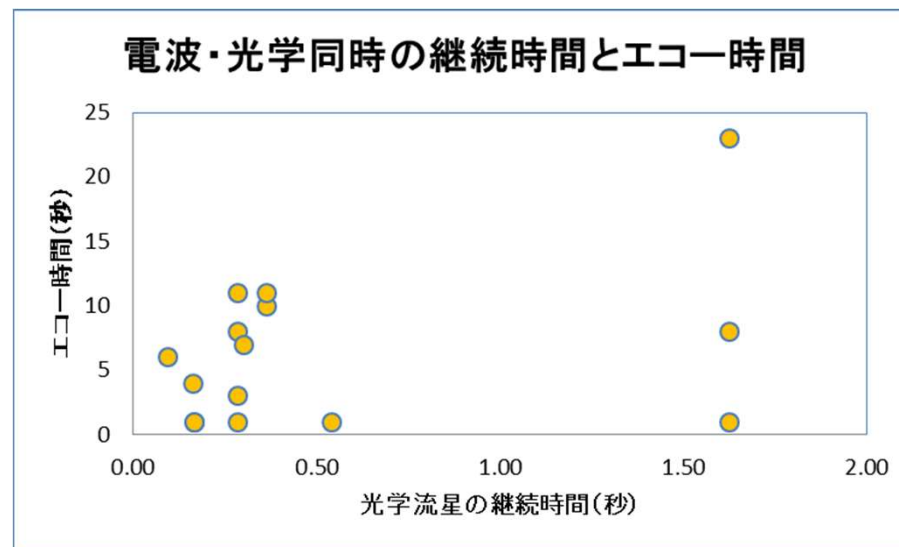
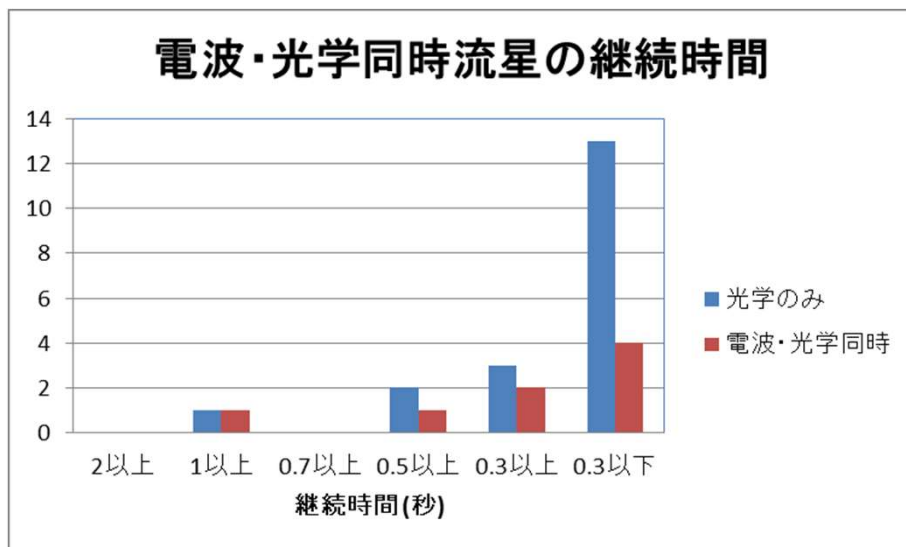


- ピークが一致している様なので始点高度と同時流星数には相関があるようにも見える

- 終点高度と同時流星数には相関があるのかも知れない
- 終点高度が低いものは明るい流星の場合が多い

先行研究では特定の高度範囲で明るくなると強いエコーとされています

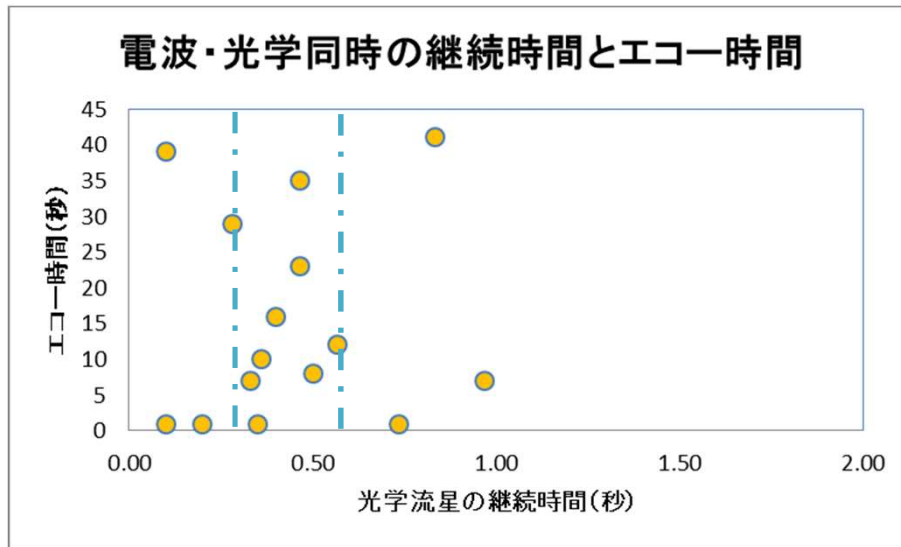
# 発光継続時間の比較



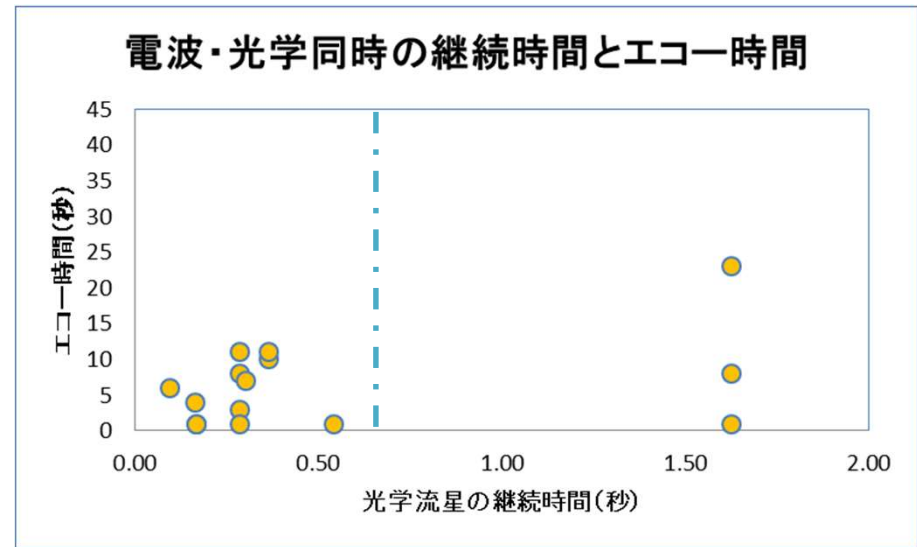
- 発光時間が少なすぎると電波エコーが減る
- また、長ければ同時流星が多いわけでもない
- 適度な範囲があるか？
- エコー時間と継続時間に相関は無い
  - 発光継続時間が短くてもロングエコーになる

# 同時流星の継続時間と各諸量の相関

## 平博の観測から

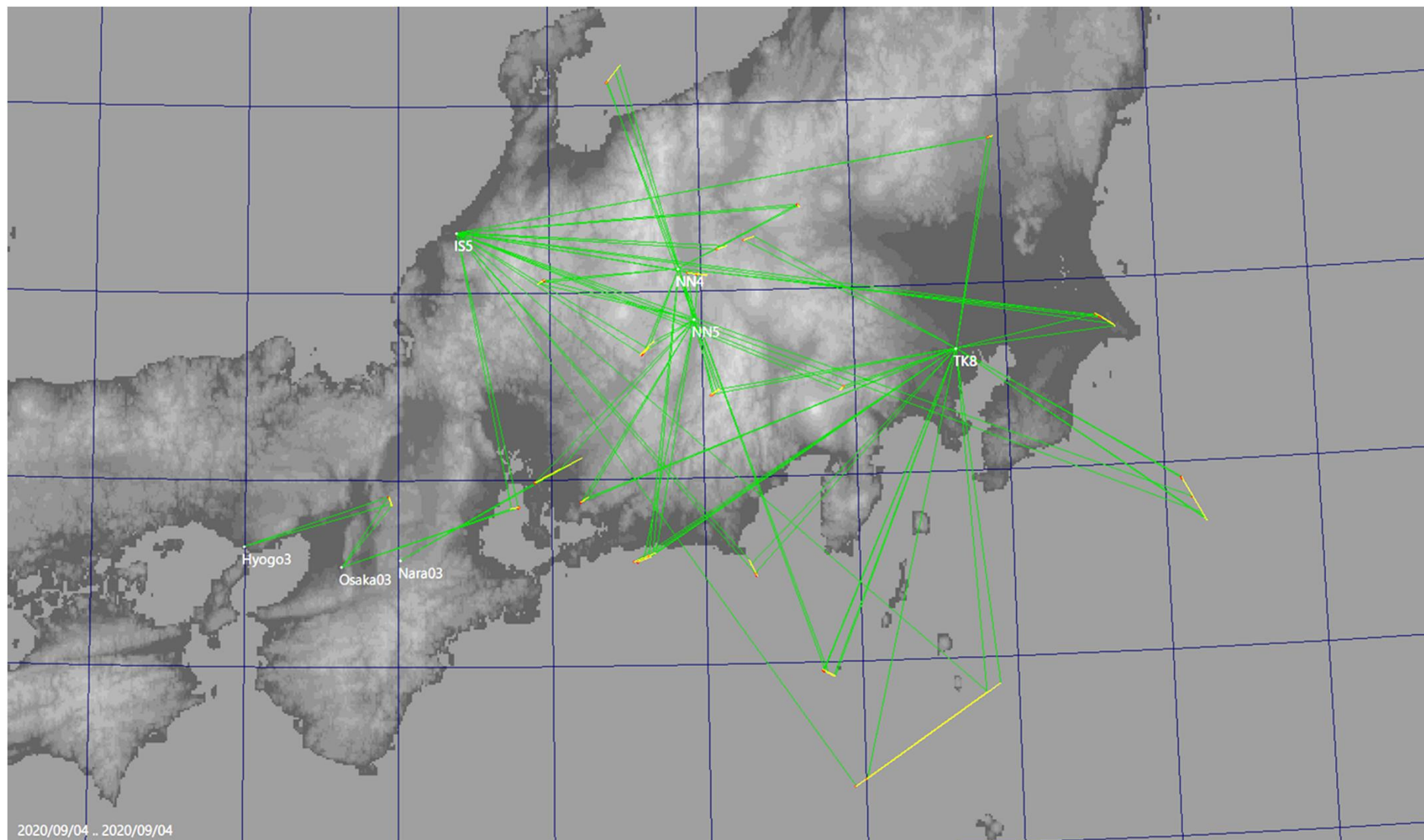


## 全国の観測から

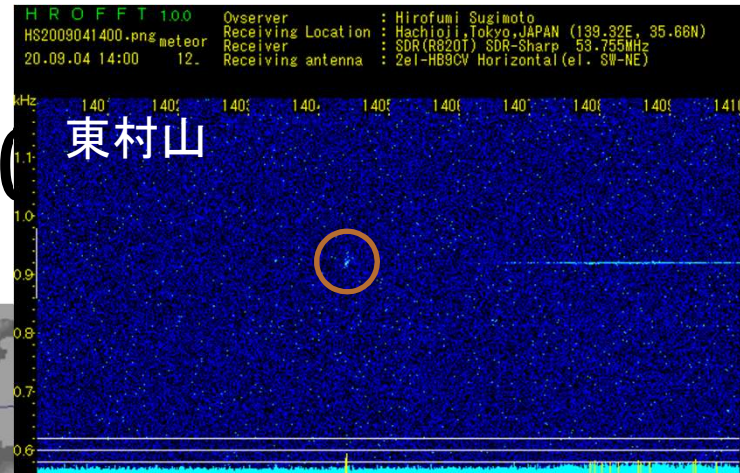
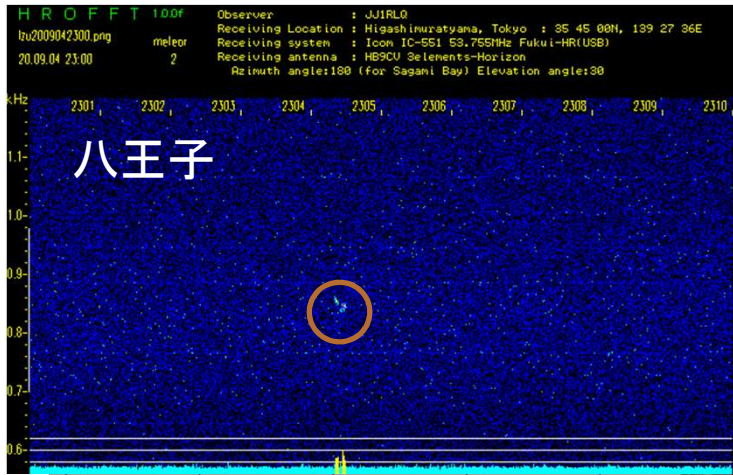


- 平博の観測では
  - 継続時間が0.3~0.6秒の流星が電波と同時流星になりやすいか
- 全国の観測では
  - 継続時間が0.6秒以下の流星が電波と同時になりやすいか
- 全般に継続時間が0.6秒以下の流星が電波と同時流星になりやすい

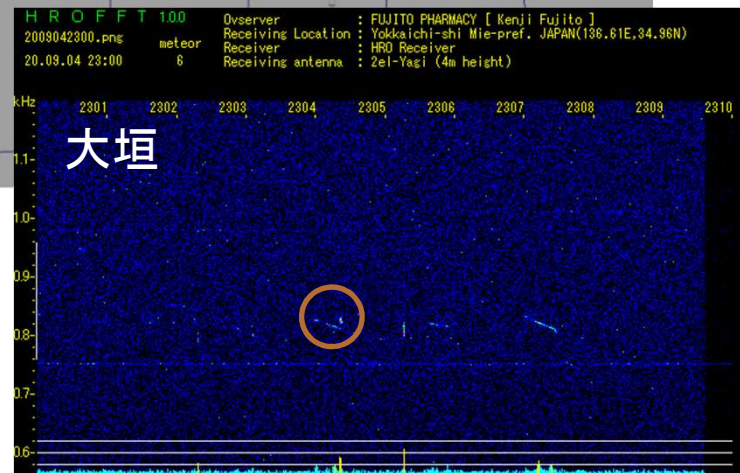
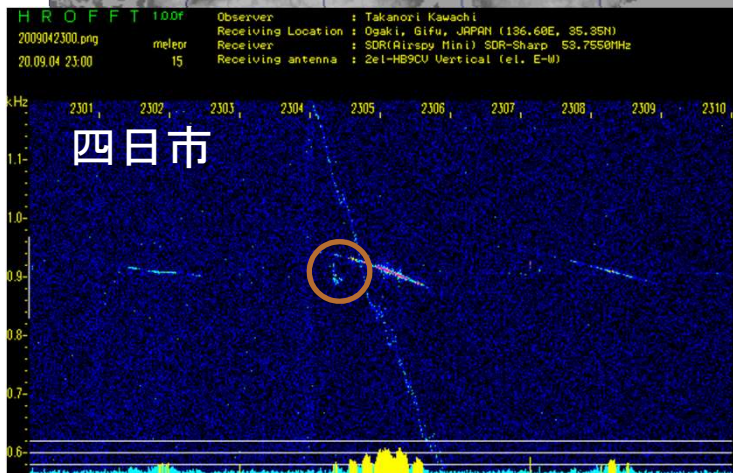
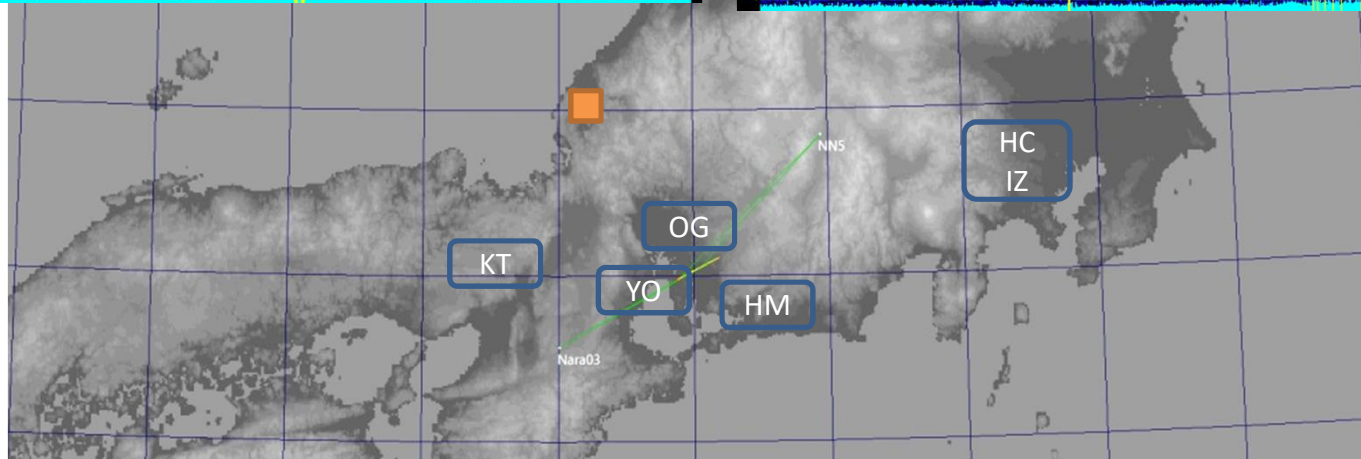
# 光学・電波同時流星のグランドマップ







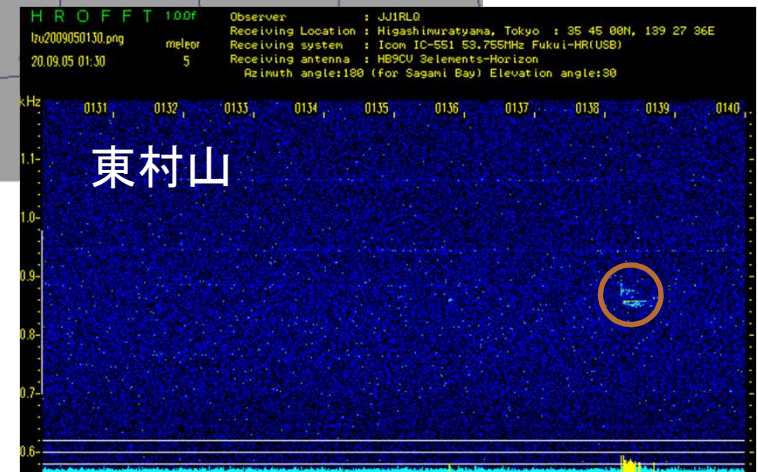
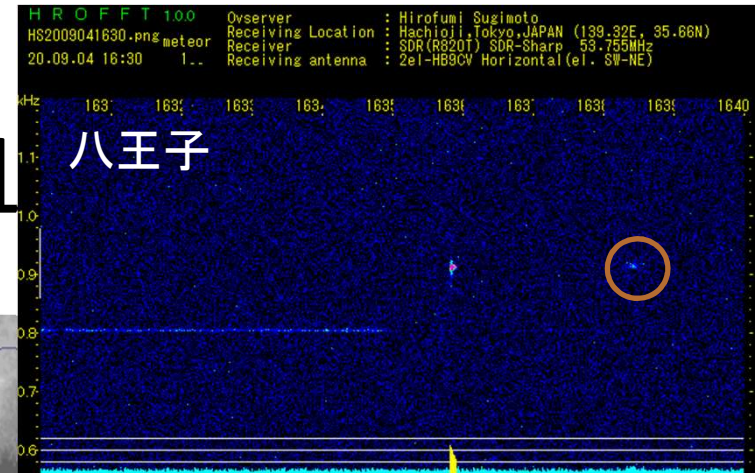
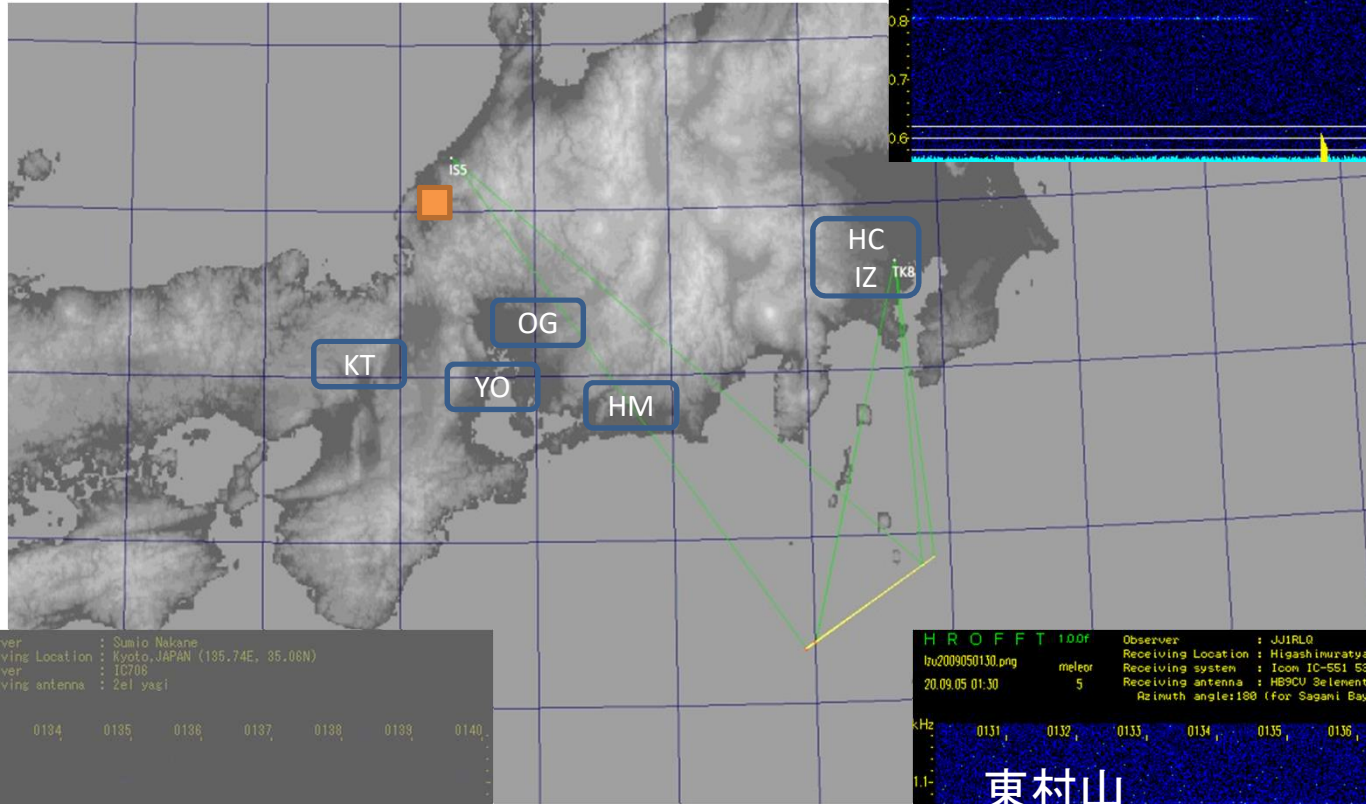
- HC 八王子
- HM 浜松
- IZ 東村山
- KT 京都
- OG 大垣
- YO 四日市





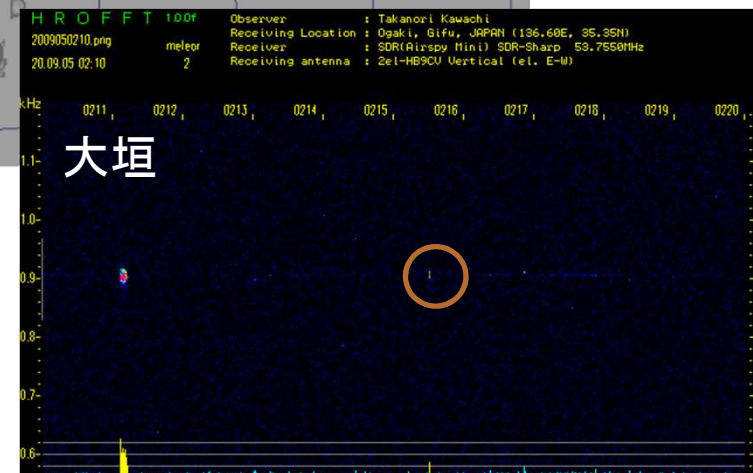
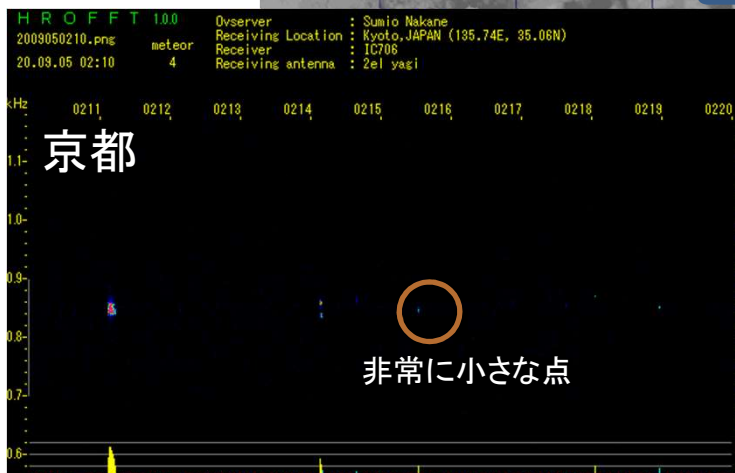
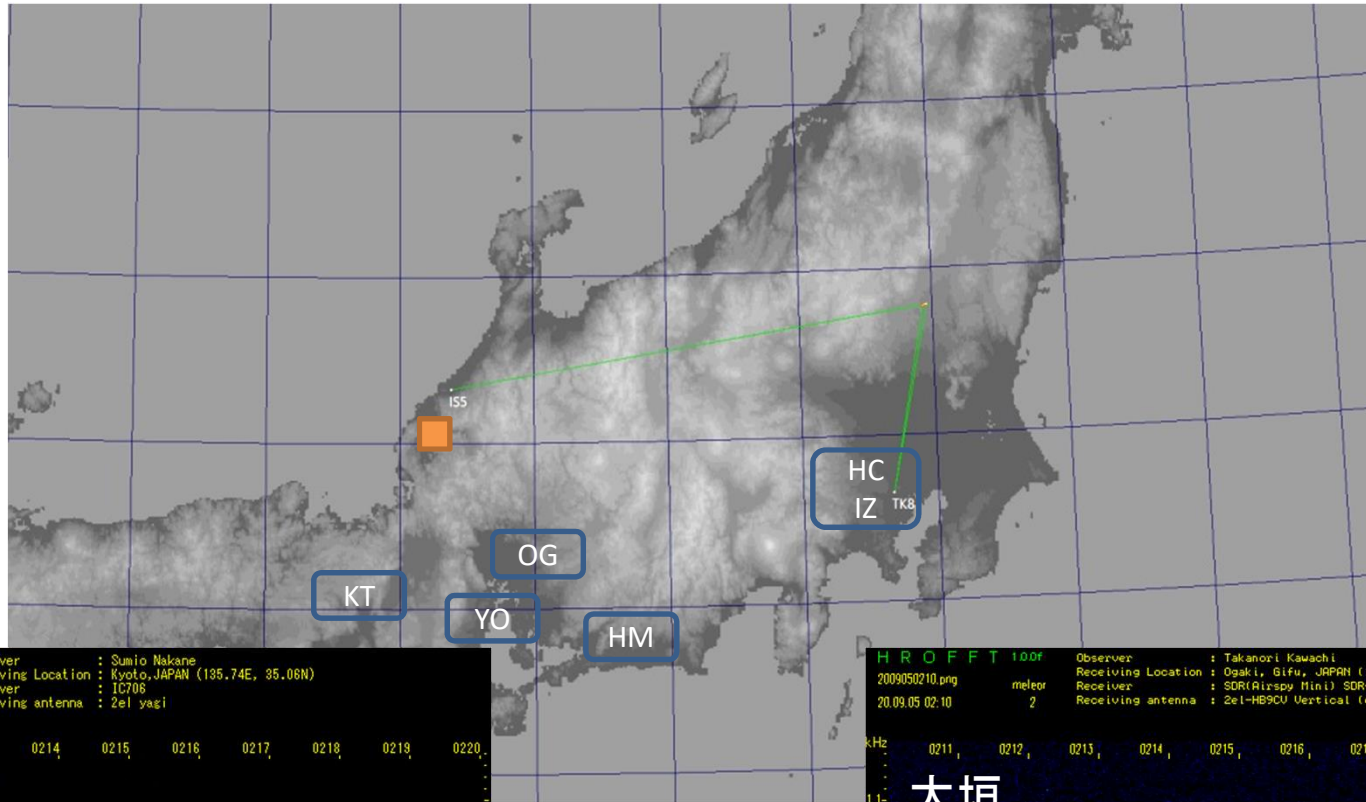
# 20200905\_01381

- HC 八王子
- HM 浜松
- IZ 東村山
- KT 京都
- OG 大垣
- YO 四日市



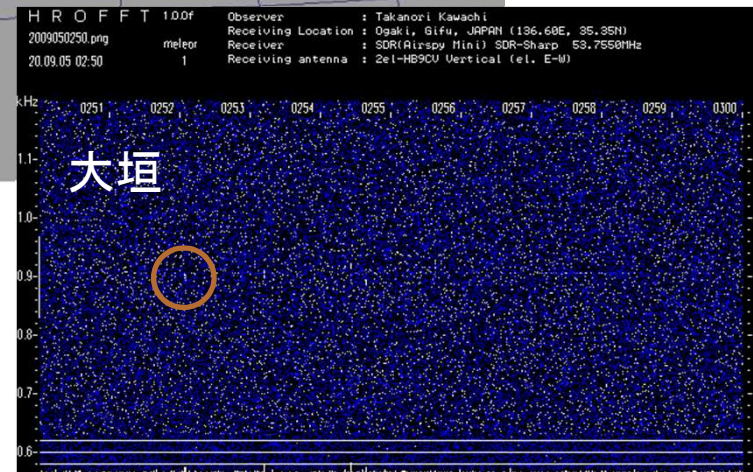
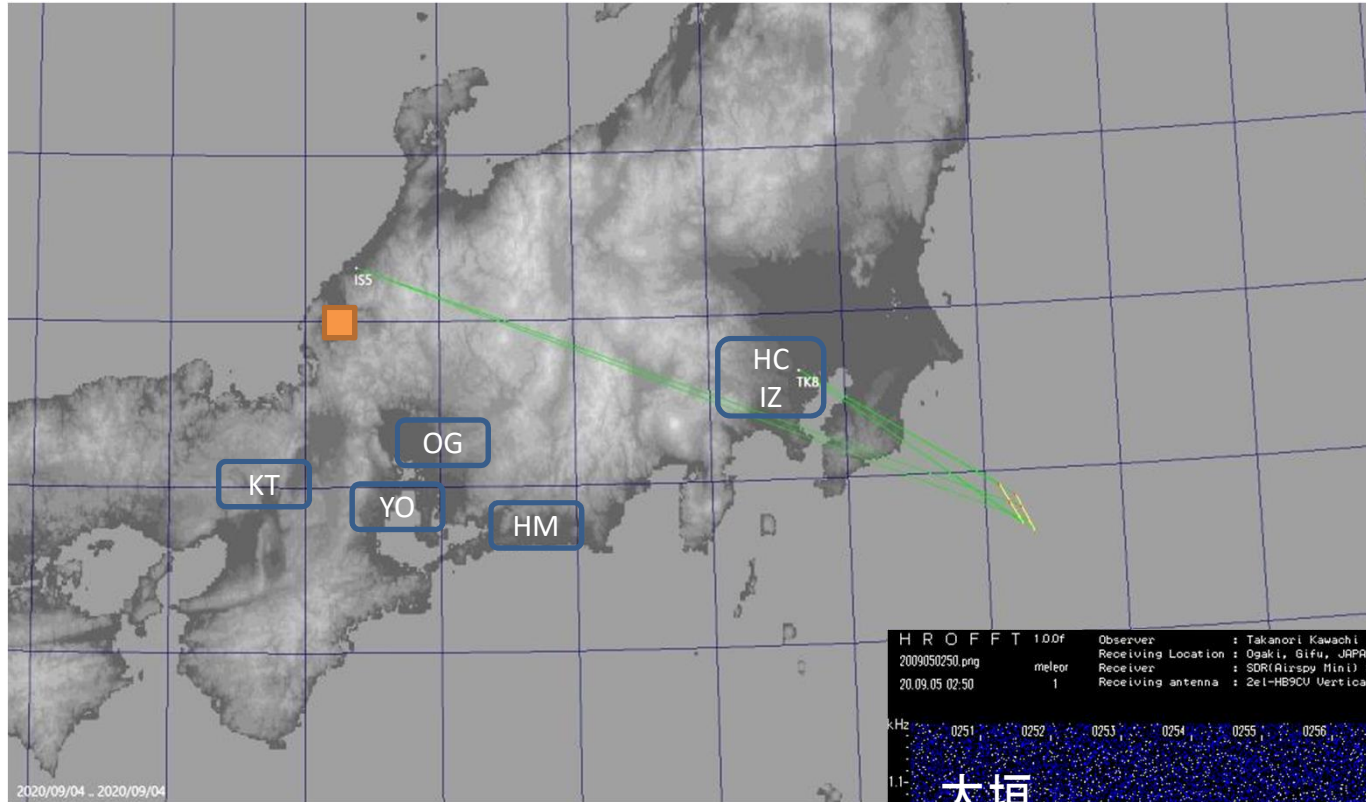
# 20200905\_021553\_GMAP

HC 八王子  
HM 浜松  
IZ 東村山  
KT 京都  
OG 大垣  
YO 四日市



# 20200905\_025207\_GMAP

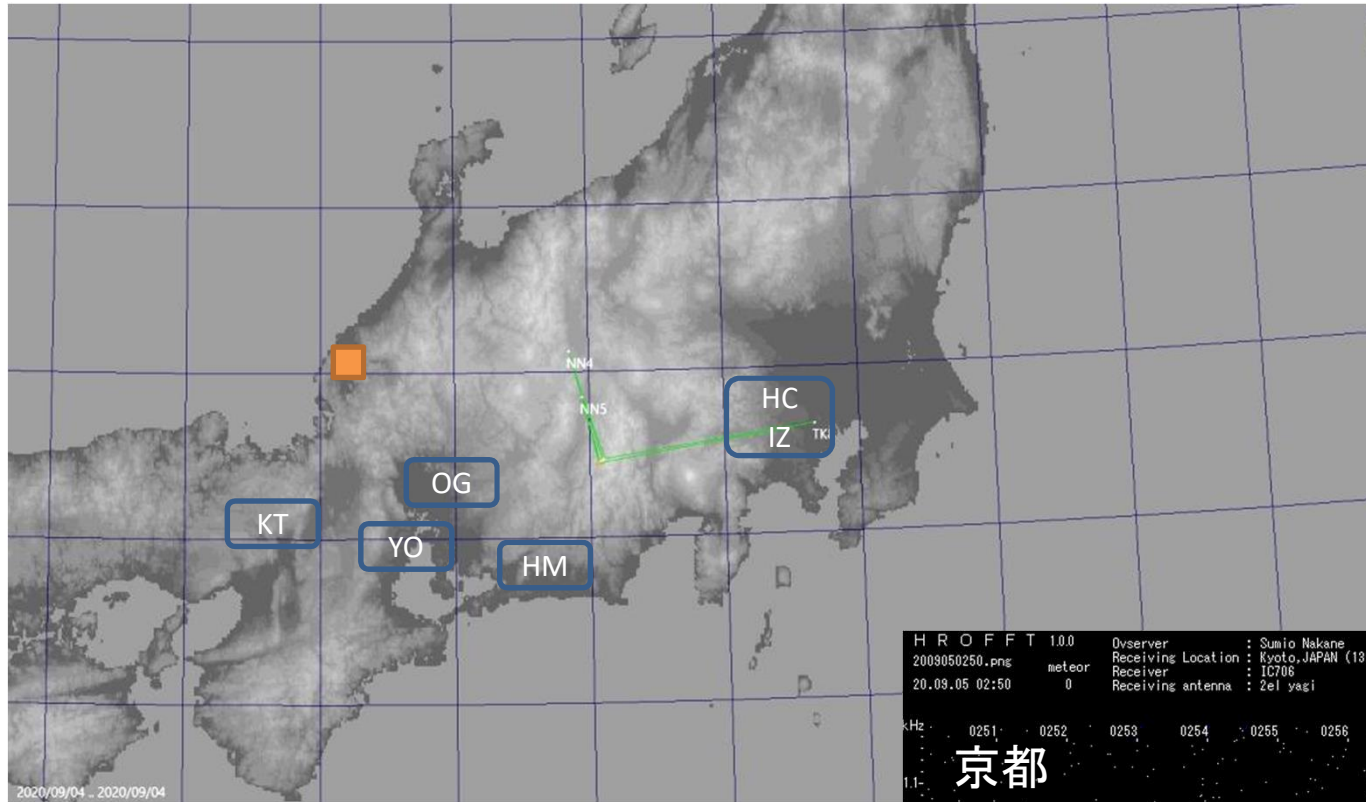
HC 八王子  
HM 浜松  
IZ 東村山  
KT 京都  
OG 大垣  
YO 四日市





# 20200905\_025924\_GMAP

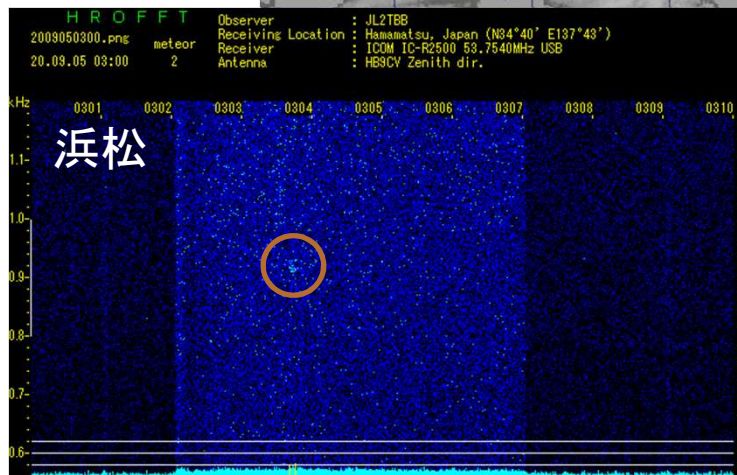
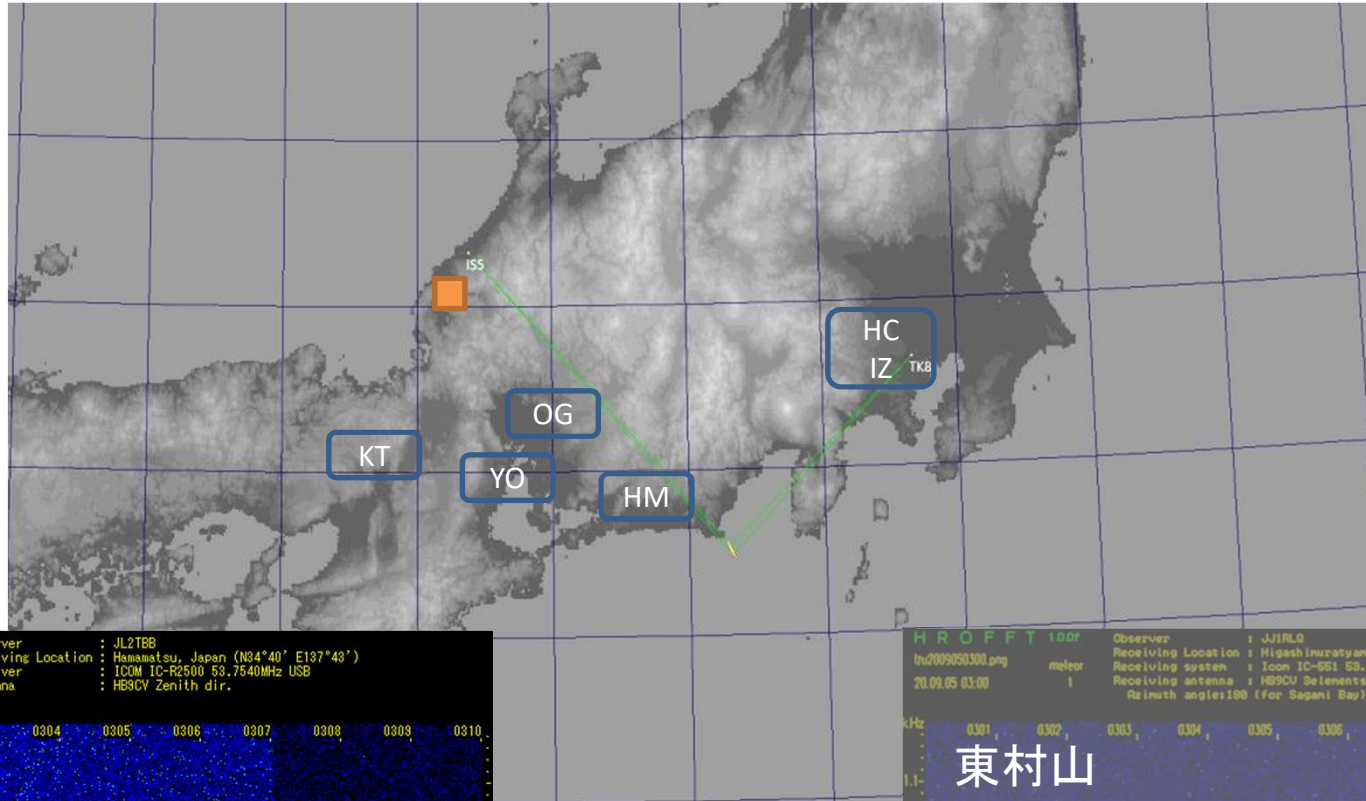
HC 八王子  
HM 浜松  
IZ 東村山  
KT 京都  
OG 大垣  
YO 四日市





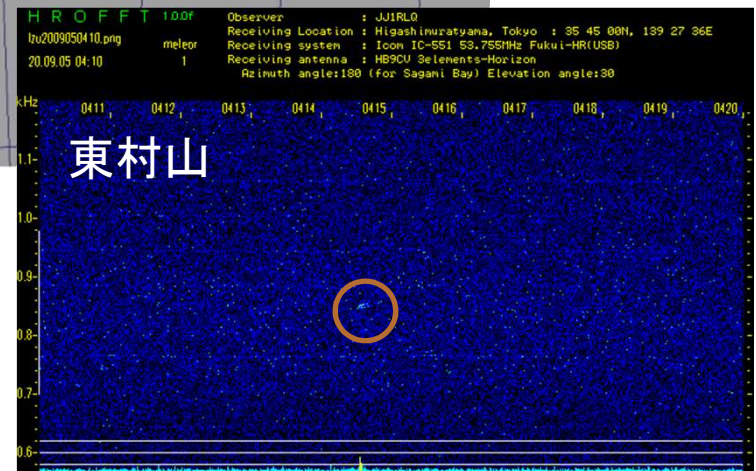
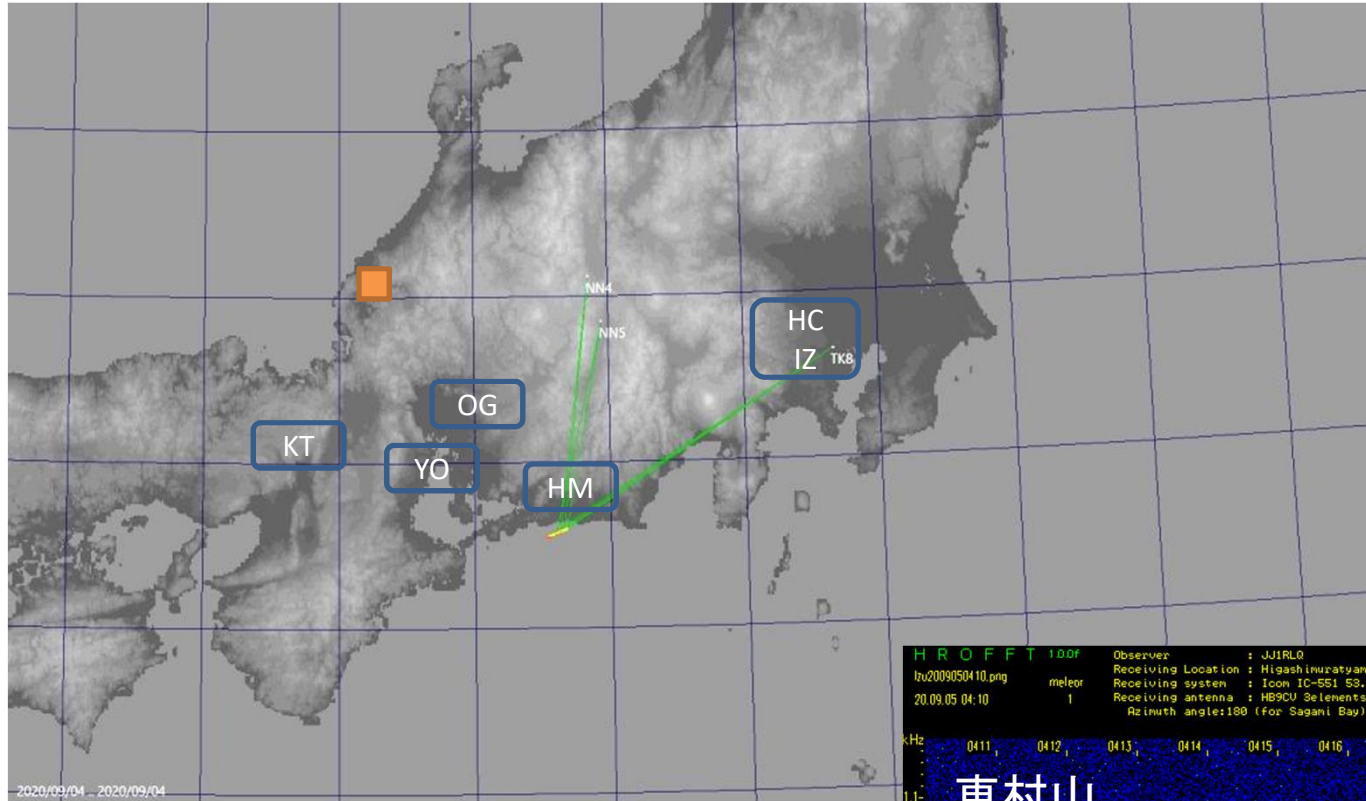
# 20200905\_030340\_GMAP

HC 八王子  
HM 浜松  
IZ 東村山  
KT 京都  
OG 大垣  
YO 四日市



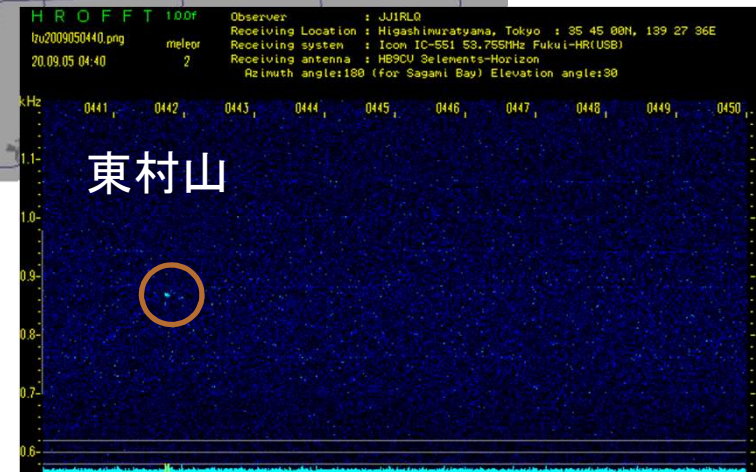
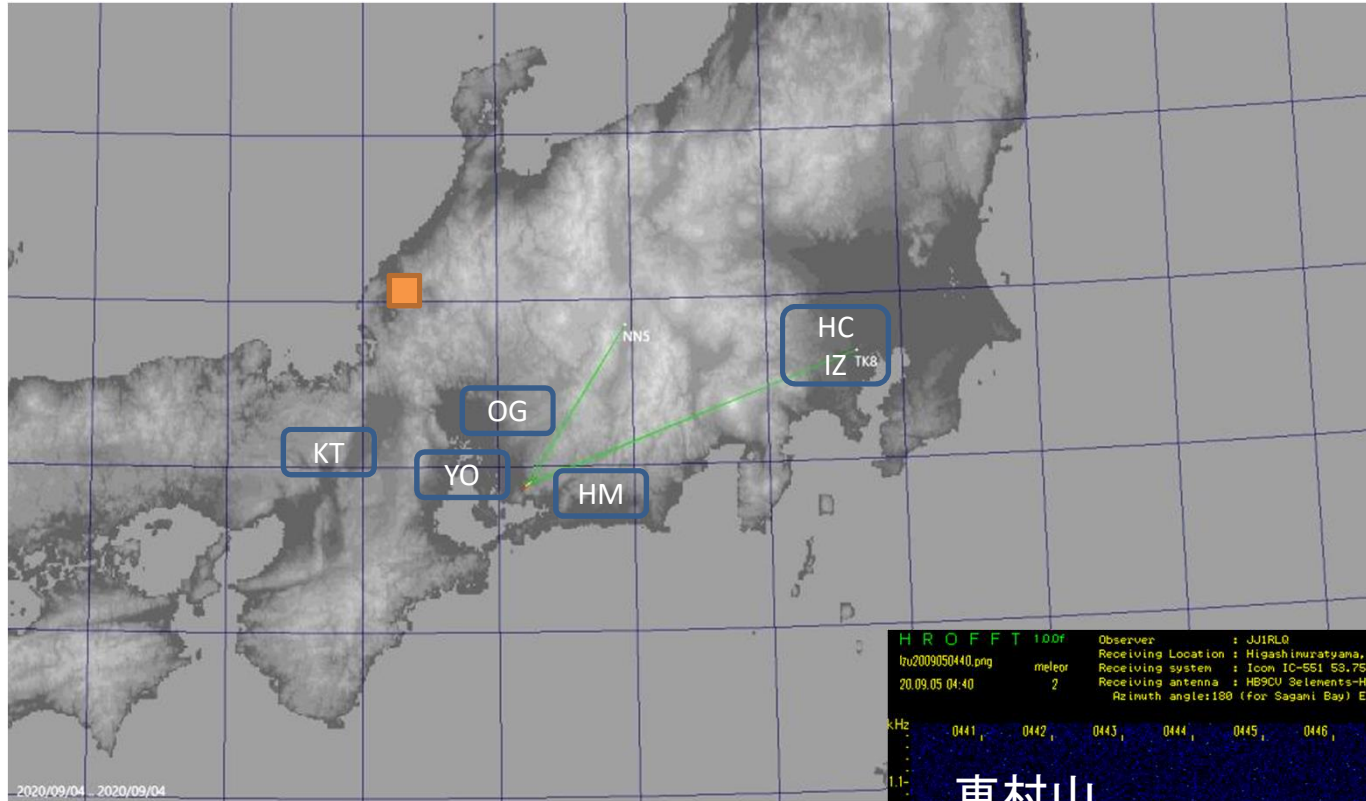
# 20200905\_041426\_GMAP

HC 八王子  
HM 浜松  
IZ 東村山  
KT 京都  
OG 大垣  
YO 四日市



# 20200905\_044142\_GMAP

HC 八王子  
HM 浜松  
IZ 東村山  
KT 京都  
OG 大垣  
YO 四日市





# 流星電波エコー機構

流星は長い線上のプラズマを残します。ここに地上の電波が当たると反射して流星電波エコーとなって観測されます。強い指向性があります。

フレネル反射と言う機構によって線長の中心から特定の長さの範囲の反射波が観測出来ます。それ以外は反射波同士が打ち消してしまいます。その長さはプラズマまでの距離と観測波長で決まります。

電子密度によって散乱機構は2種類に分かれます。

線電子密度( $q$ )は1m当たりの自由電子の数( $m^{-1}$ , 個/m)

体積電子密度( $N, n_e$ )は単位体積当たりの自由電子の数( $m^{-3}$ , 個/ $m^3$ )

線電子密度と流星の光度・速度関係

$$M_r = 36 - 2.5 \log_{10}(q/v)$$

$M_r$ : 流星の光度

$q$ : 線電子密度

$v$ : 対地速度

散乱機構によって異なるエコーとなります。

## 体積電子密度(大)

線電子密度が $10^{14}$ 個/m以上

オーバーデンスエコーとなって電波は全反射される  
時間とともに反射領域が成長しロングエコーになる  
エコー継続時間の対数と光度にリニアな関係あり

## 体積電子密度(小)

線電子密度が $10^{14}$ 個/m以下

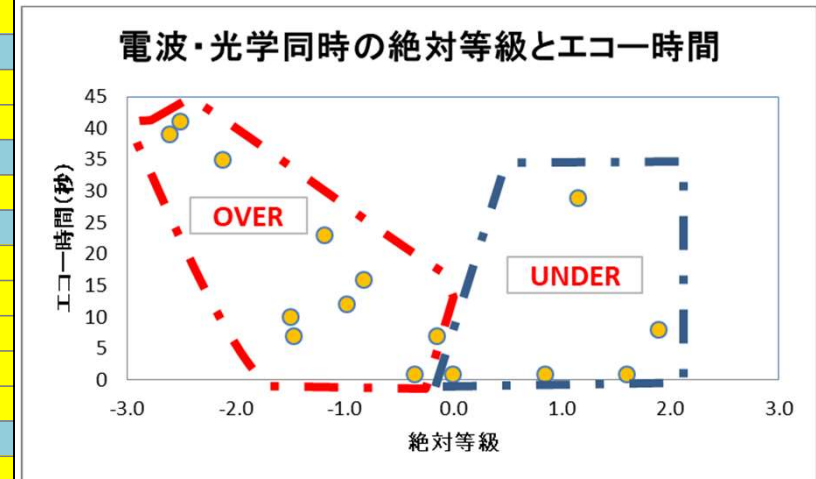
アンダーデンスエコーとなり、  
各々の自由電子で反射します  
エコーは急速に弱くなる

・高度が高いほど風が強くてプラズマ帯(飛跡)は拡散される。この時の運動でドップラーシフトするとエコーは周波数方向に広がる。

・風で拡散されると反射が複雑になり広範囲に反射される

# 平塚の線電子密度と散乱機構分類

No	電波画像	継続時間	エコー時間	Amag	Vg	線電子密度	エコー形状
1	KN9_2007301950.png	0.47	35	-2.1	51.8	9.2E+16	over
2	KN9_2008020130.png	0.50	8	1.9	40.7	1.8E+15	under
3	KN9_2008040200.png	0.28	29	1.1	35.1	3.1E+15	over
4	KN9_2008102240.png	0.47	23	-1.2	48.9	3.7E+16	over
5	KN9_2008110300.png	0.10	1	1.6	51.3	3.0E+15	under
6	KN9_2008122320.png	0.57	12	-1.0	41.2	2.6E+16	over
7	KN9_2008130051.png	0.35	1	0.8	58.0	6.7E+15	under
8	KN9_2008130120.png	0.33	7	-1.5	58.8	5.7E+16	over
9	KN9_2008130330.png	0.10	39	-2.6	51.1	1.4E+17	over
10	KN9_2008130340.png	0.20	1	-0.4	63.5	2.2E+16	over
11	KN9_2008140000.png	0.40	16	-0.8	53.8	2.9E+16	over
12	KN9_2008140120.png	0.36	10	-1.5	63.7	6.4E+16	over
13	KN9_2008202340.png	0.73	1	0.0	35.5	8.9E+15	under
14	KN9_2008252320.png	0.83	41	-2.5	57.3	1.5E+17	over
15	KN9_2008280400.png	0.97	7	-0.2	37.8	1.1E+16	over



- overdense echo と underdense echo の線電子密度の境は $10^{14}$ とされていますがこの観測では $10^{15}$ のようです
- 線電子密度が10倍多く見積もられています
- これはTV観測が赤外に感度がある事による事が要因かも知れません
- overdense echoは0等より明るく光度とエコー時間に相関がある
- underdense echoは0等より暗く光度とエコー時間に相関がない

# 全国の線電子密度と散乱機構分類

No	光学/電波	localtime	Amag	vg	dur	エコー時間	線電子密度	エコー形状
1	光学	20200904_230419	-2.30	75.2	0.28		1.6E+17	
	電波	YO2009042300				3		over
		OG2009042300				8		over
		IZ2009042300				11		over
		HC2009042300				1		over
2	光学	20200905_013813	-5.97	62.2	1.62		3.8E+18	
	電波	IZ2009050130				23		over
		HC2009050130				8		over
		KT2009050130				1		under
3	光学	20200905_021553	-2.30	60.1	0.17		1.3E+17	
	電波	KT2009050210				1		under
		OG2009050210				1		under
4	光学	20200905_025207	-3.53	78.7	0.54		5.1E+17	
	電波	OG2009050250				1		under
5	光学	20200905_025924	-1.16	66.2	0.16		4.8E+16	
	電波	KT2009050250				4		under
6	光学	20200905_030340	-1.21	37.7	0.36		2.9E+16	
	電波	HM2009050300				10		over
		IZ2009050300				11		under
7	光学	20200905_041426	-2.76	65.5	0.30		2.1E+17	
	電波	IZ2009050410				7		over
8	光学	20200905_044142	-2.20	58.0	0.10		1.1E+17	
	電波	20200905_044145				6		over

- overdense echo と underdense echo の線電子密度の境は $10^{14}$ とされていますがこの観測では $10^{16\sim 17}$ のようです
- ただし、同じ流星でもover/underが混在しています
- これは平塚の観測は観測方向や観測地が電波と光学で同じだったのに対して、全国ではこの制約が無い事が要因なのかも知れません



# 結果

1. 電波と光学の同時流星は少ない 先行研究と同じ結果
2. 明るい流星が必ずしも電波で検出されるわけではない 先行研究と同じ結果
3. 明るい流星はロングエコーになる
4. 対地速度とエコー時間には相関が見られない 先行研究では遅い方が強電界
5. 発光継続時間が短くてもロングエコーになる場合がある 先行研究では継続時間の議論は無い
6. 発光継続時間0.6秒以下の流星は電波で検出されやすい
7. 線電子密度を測定するにはV等級で測光すると良いかも知れません
8. 観測地点が全国の場合と特定の方向を観測する場合で調査内容(評価項目)を変えると良いようです
  1. 電波も光学も同じ方向を観測する方が線電子密度の測定には良さそうです
9. 今後は高度・速度にも注目が必要