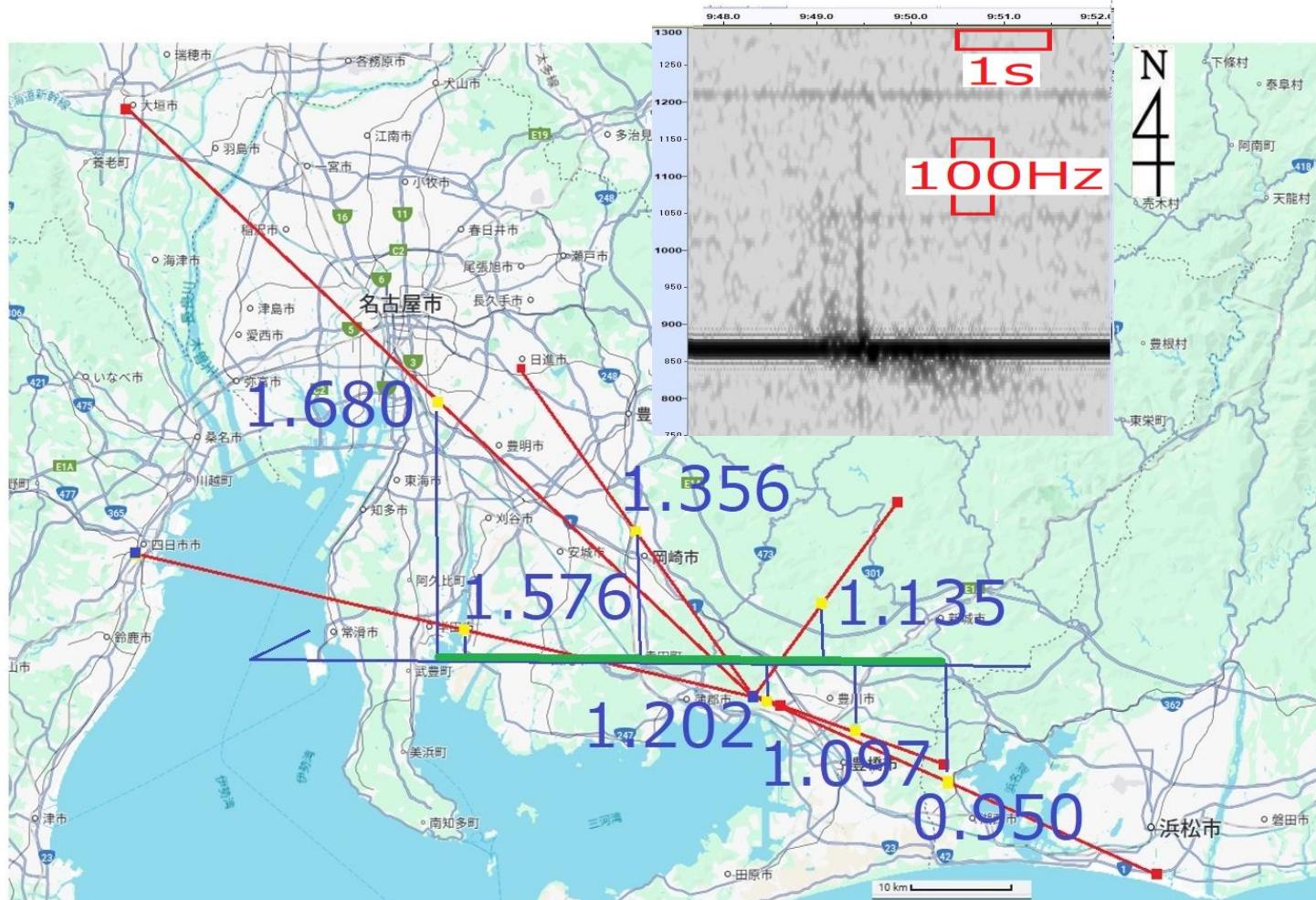


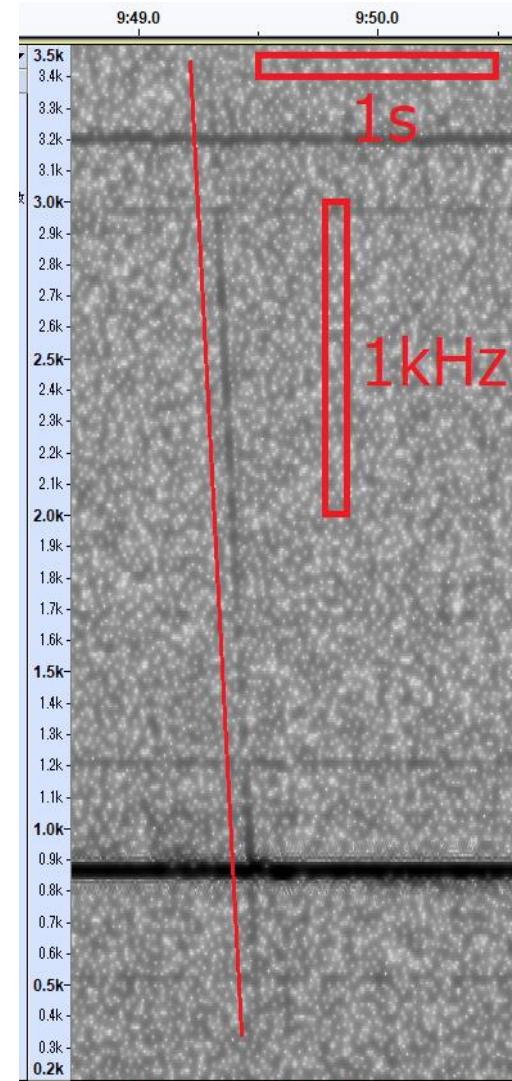
7点同時流星電波観測による 流星経路の推定



鈴木和博 (豊川市)
加藤泰男 (豊川市)
岡本貞夫 (日進市)
川地孝典 (大垣市)
渥美 健 (浜松市)
藤戸健司 (四日市市)
小林美樹 (名古屋市)
鈴木 悟 (岡崎市)

本報告の流れ

- ・私たちの流星電波観測で得られるドップラーエコー
- ・頭部ドップラーエコーの3タイプ
- ・東海地方流星電波観測サイトラインアップ
- ・2024年12月23日01時49分49秒の流星の光学経路
- ・各サイトにおける上記流星のドップラーエコー
- ・ f_0 点通過時刻から求められる流星の方向と速さ
- ・流星エコーのドップラー周波数からわかること
- ・高層大気風が流星エコーに及ぼす影響
- ・流星経路確定法についての現時点での到達点
- ・アピール あなたも電波観測の仲間に！



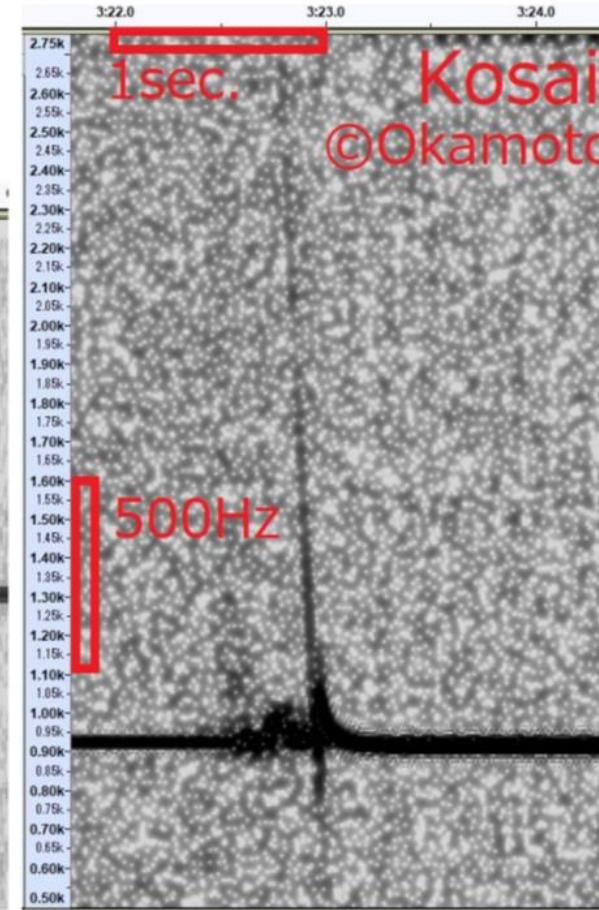
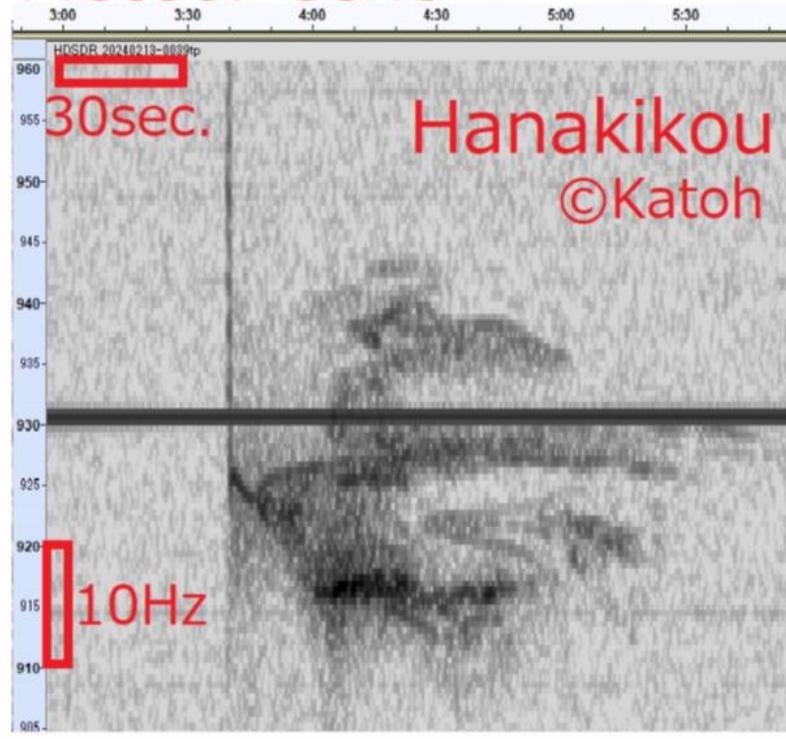
Hanakikou

最大規模のドップ
ラーエコー

流星電波観測で得られる流星エコー

流星経路上の電離雲は中層大気の風速に依拠するドップラ一周波数が読みとれる

20240213_004340
Meteor echo



流星本体の速度に依拠するドップラ一周波数が読みとれる

流星ヘッドエコー情報
<http://www.headecho.sakura.ne.jp/MHEDJ.htm> より

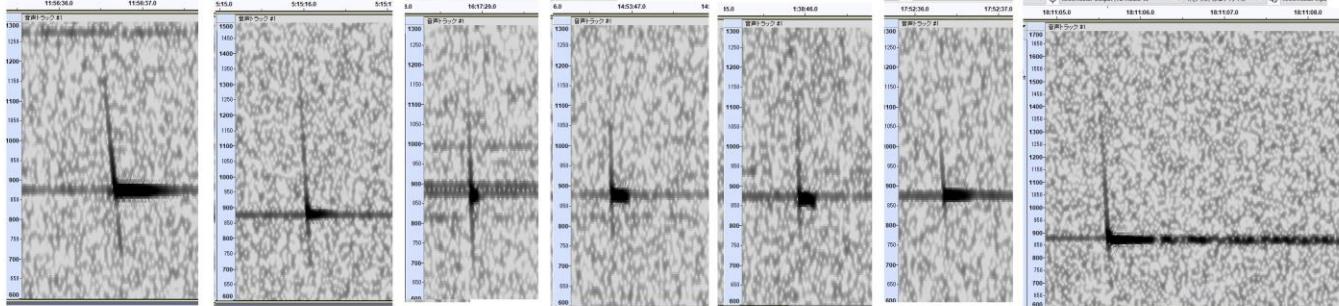
時間（横軸）・周波数（縦軸）スケールに注目ください。
左：飛跡からのドップラーエコー、右：頭部からのドップラーエコー

流星頭部からのドップラーエコーの3タイプ

Meteor Doppler echo types

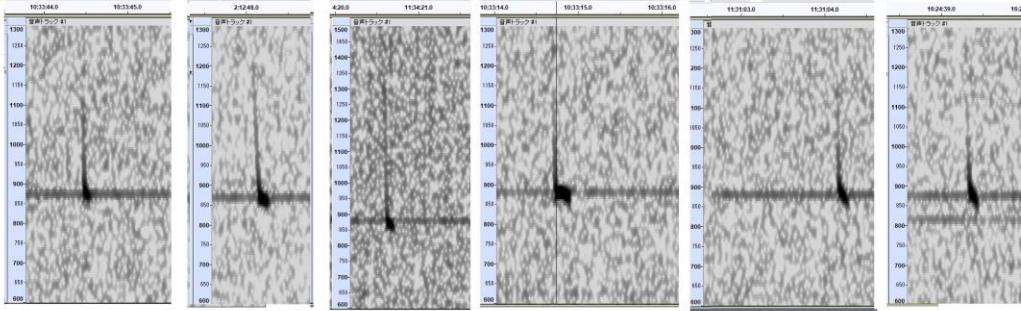
Type A

20240812
025635 20240712
201515 20240731
071727 20240727
065345 20240816
220845 20240810
055235 20240806
061104



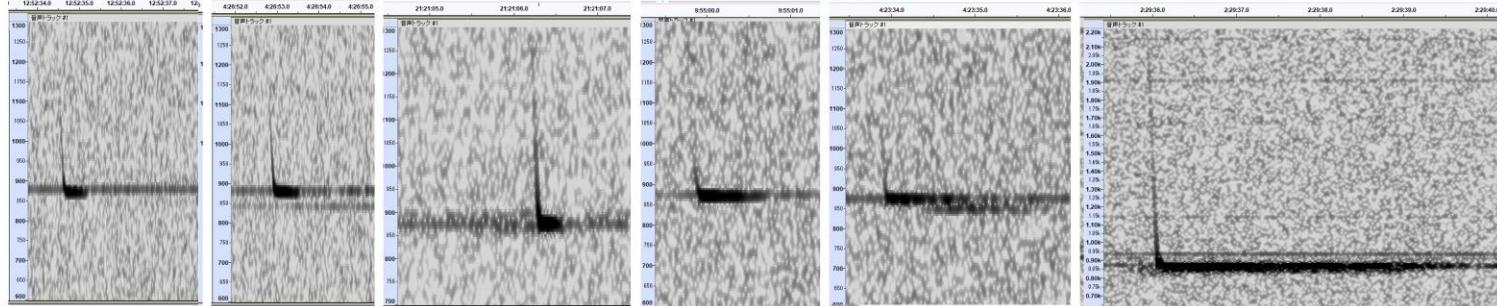
Type B

20240815
013343 20240817
161248 20240729
013429 20240728
013313 20240731
023103 20240731
072438

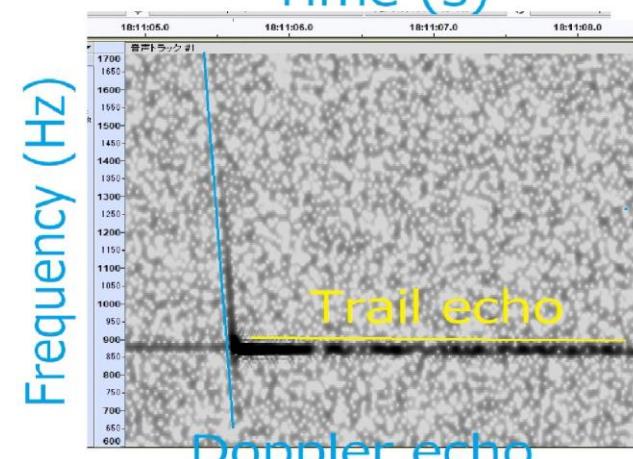


Type C

20240727
045233 20240731
192651 20240814
072105 20240818
062459 20240816
022333 20240817
225935

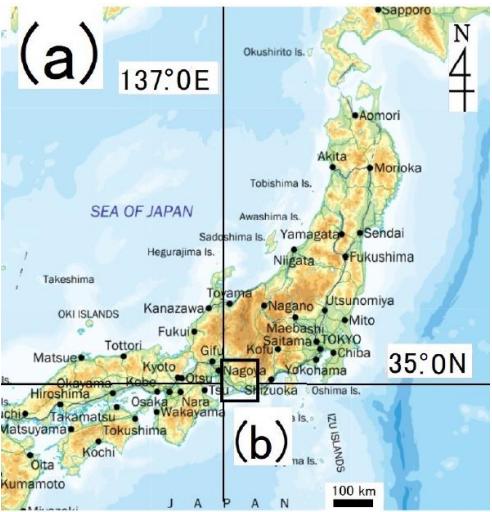


Time (s)



おそらく、タイプは異なっても単に見え方が違うだけ

電波観測サイト



送信機

送信波は53.1MHz, 50W, 繰続波。
9分送信, 1分停波。現在送信点
は豊川市御津町, 受信点は7点。
御津町, 新城市, 湖西市(送受信
距離: 20km以内), 大垣市, 浜松
市, 四日市市, 日進市



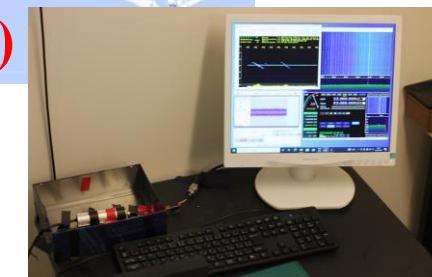
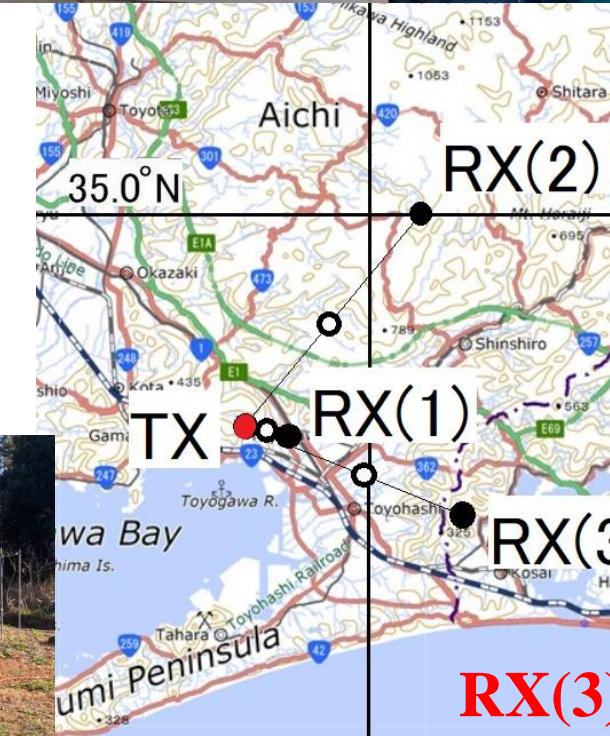
送信アンテナ
ソヨゴの森サイト TX



受信アンテナ(花木香サイト) RX(1)



受信アンテナ
RX(3)
受信装置



SDR, PC, HD
RX(1)
受信装置

作手サイト(RX2) の機器

2エレ八木アンテナ、
受信はSDR、アプリは
HDSDR。仮想サウンド
カードでHROFFTと
Audacityに常時記録

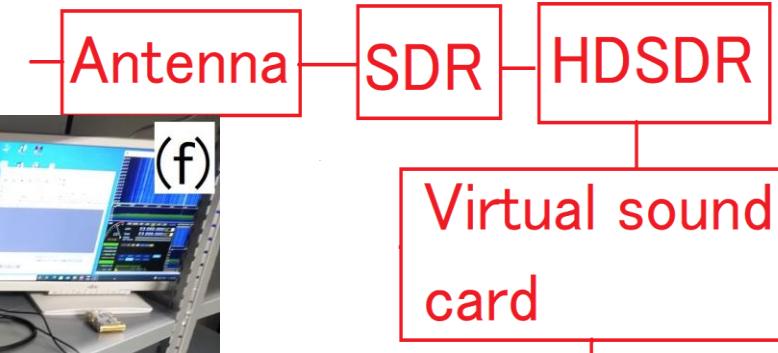
Nooelec RTL-SDR v5 SDR - NESDR SMArt HF/VHF/UHF (100kHz-1.75GHz) ソフトウェア無線。プレミアム RTLSDR、0.5PPM TCXO、SMA 入力、アルミニウム エンクロージャ付き。RTL2832U & R820T2 (R860) ベースのラジオ

ブランド: NooElec

4.4 ★★★★★ 2,280個の評価

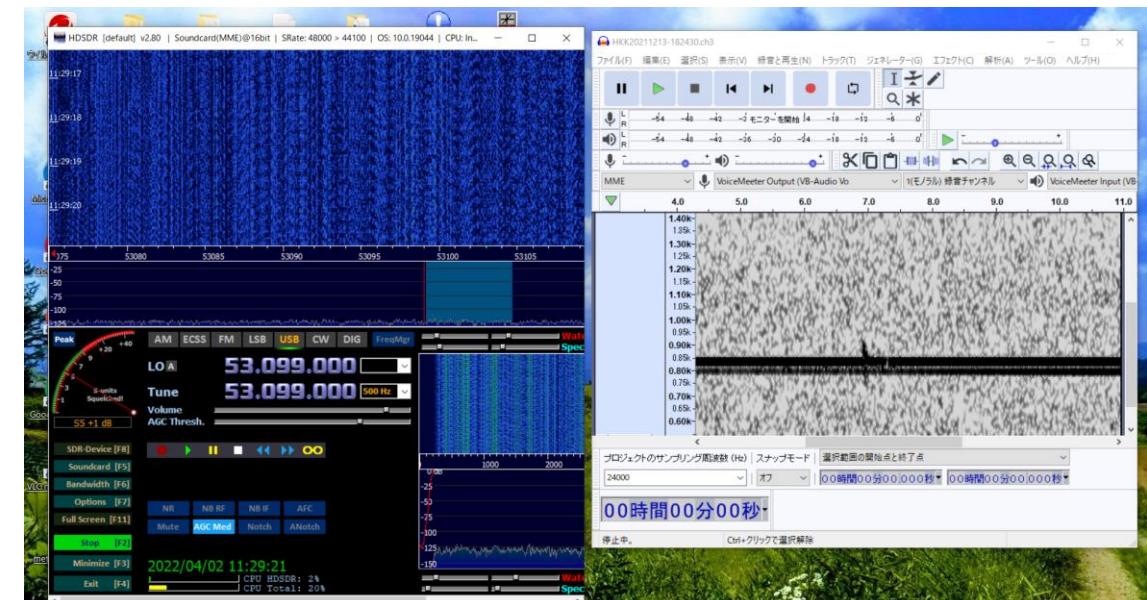
Amazon おすすめ

¥6,695 税込



Audacity
easy-to-use, multi-track
audio editor and recorder

HROFFT
Immediate Fourier analysis
can be processed and displayed



HDSDR

Audacity

各観測サイト



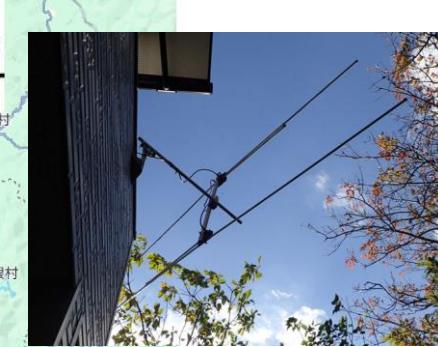
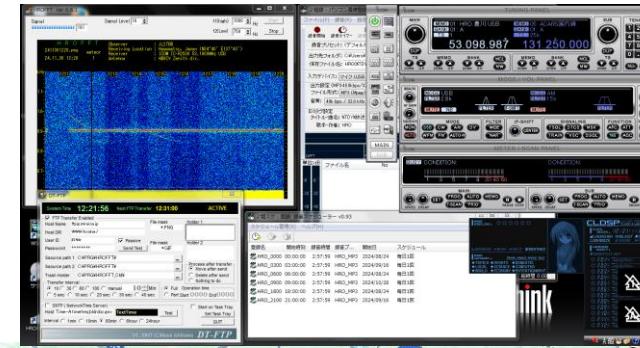
受信アンテナ(大垣)



受信装置(大垣)



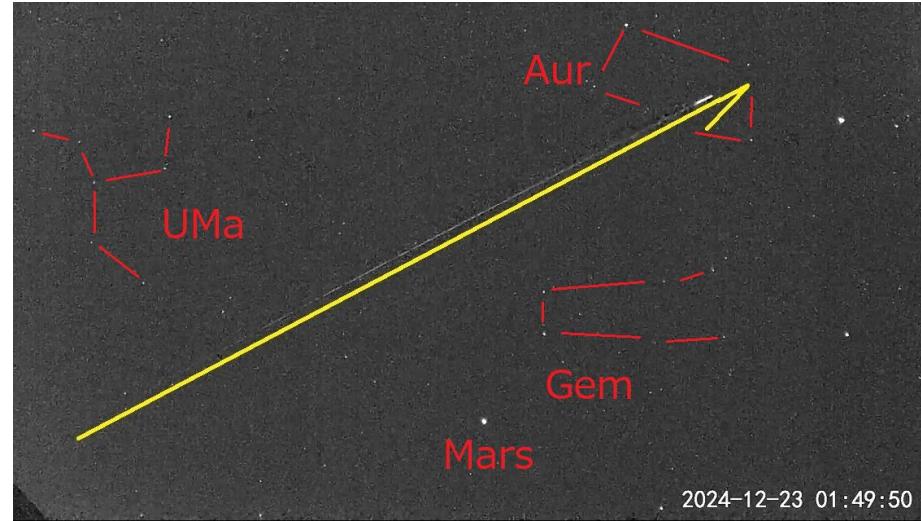
←受信装置・受信アンテナ(四日市)



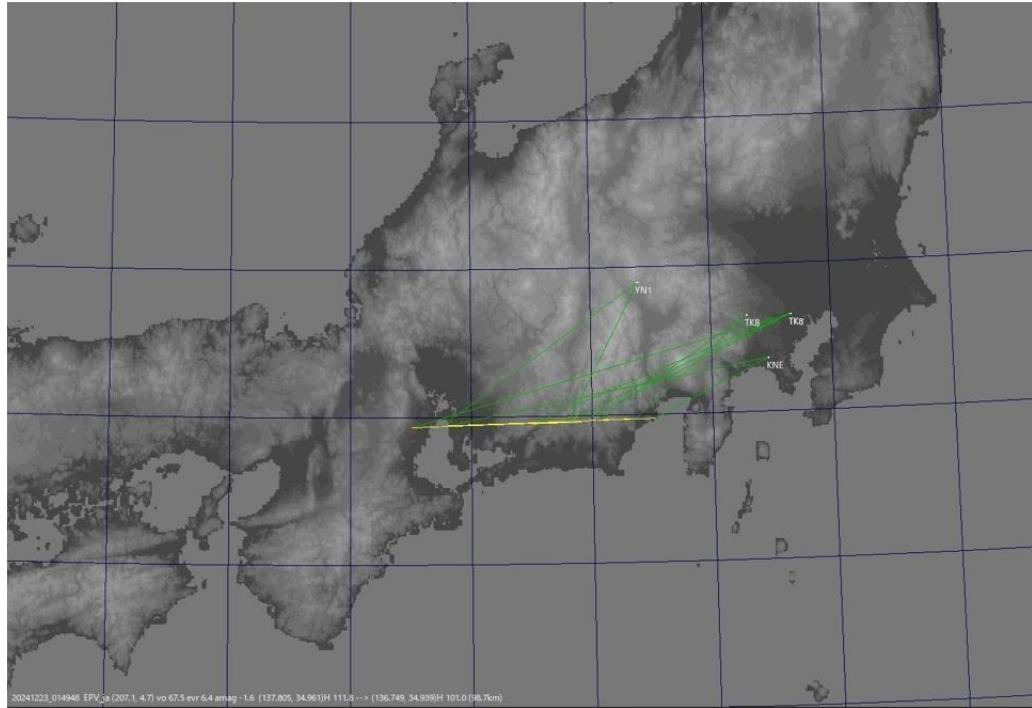
豊川市上空を飛行する当該流星 2024年12月23日01時49分49秒(LT)



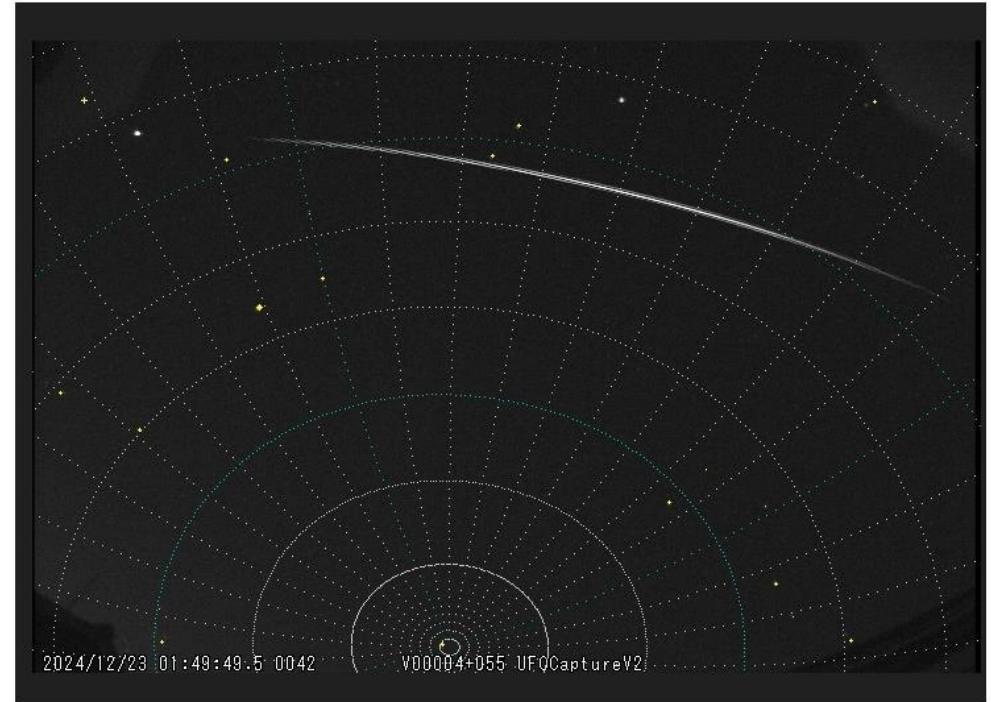
当該流星は豊川市
にてアトムカメラ
で撮影されていた
01 : 49 : 49
© Katoh



当該流星の光学的諸量



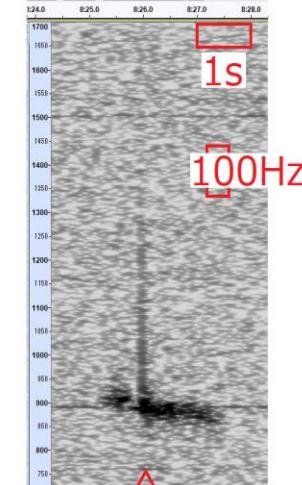
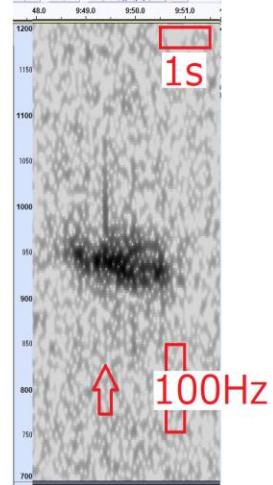
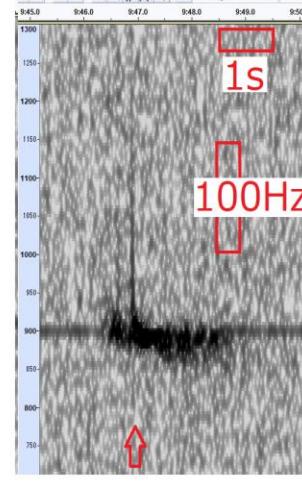
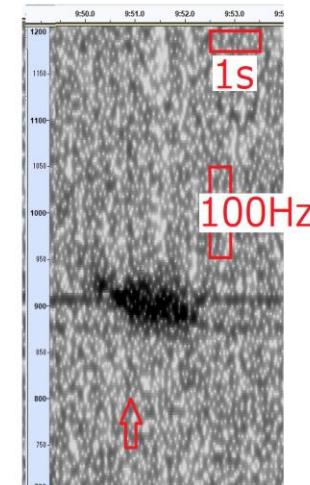
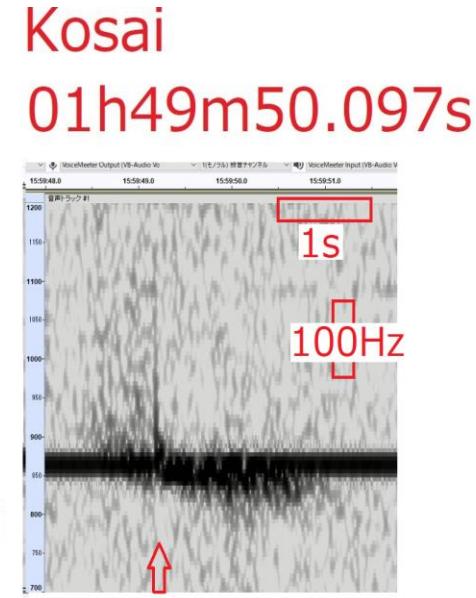
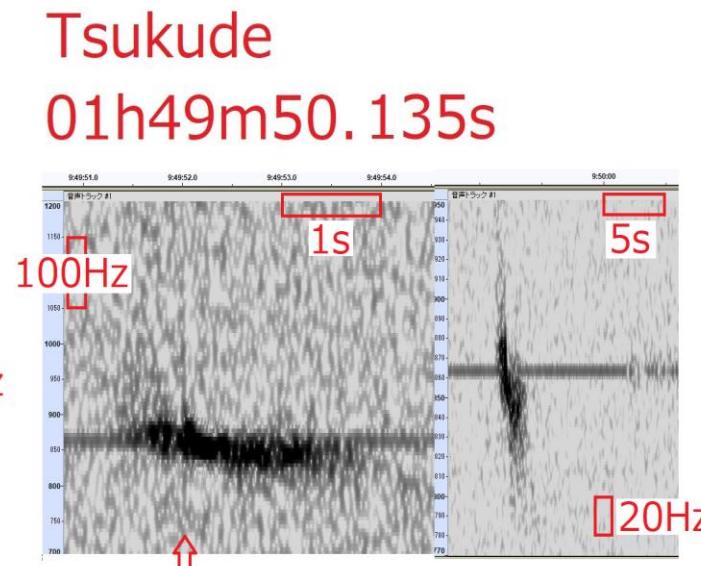
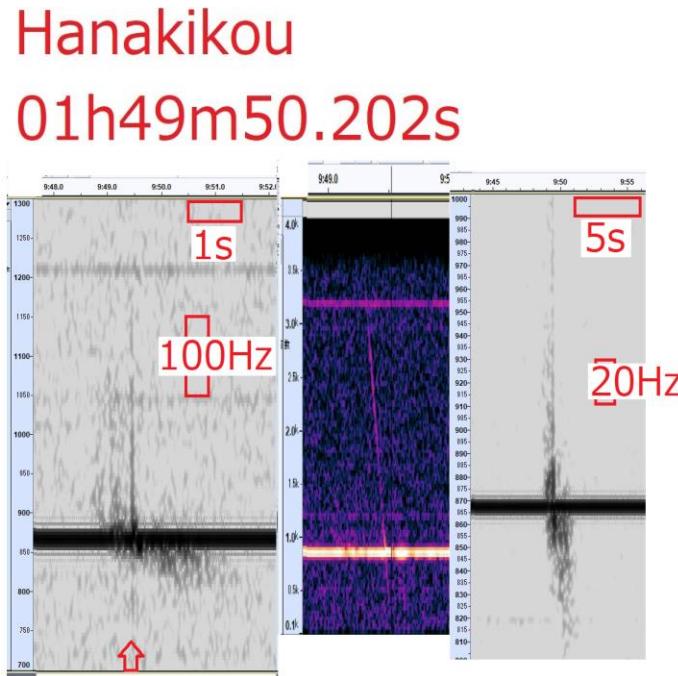
速度 : 67.5km/s, 突入角度 : 6.4°
光度 : -1.6等, 高度 : 111km→101km
SonotaCoネットワークのデータをもとに
小林氏計算 SonotaCoネットワークさん
いつもありがとうございます。



発光点 (λ : 138.21, ϕ : 34.97)
消滅点 (λ : 136.49, ϕ : 34.93)
光度:-1.8等, 繼続時間:2.4s,
対地速度 : 66.2km/s 散在流星
高度:116.2km→98.5km
鈴木悟氏 計算 NMS同報12.23付

各サイトにおける 20241223_ 014949 (LT) のエコー

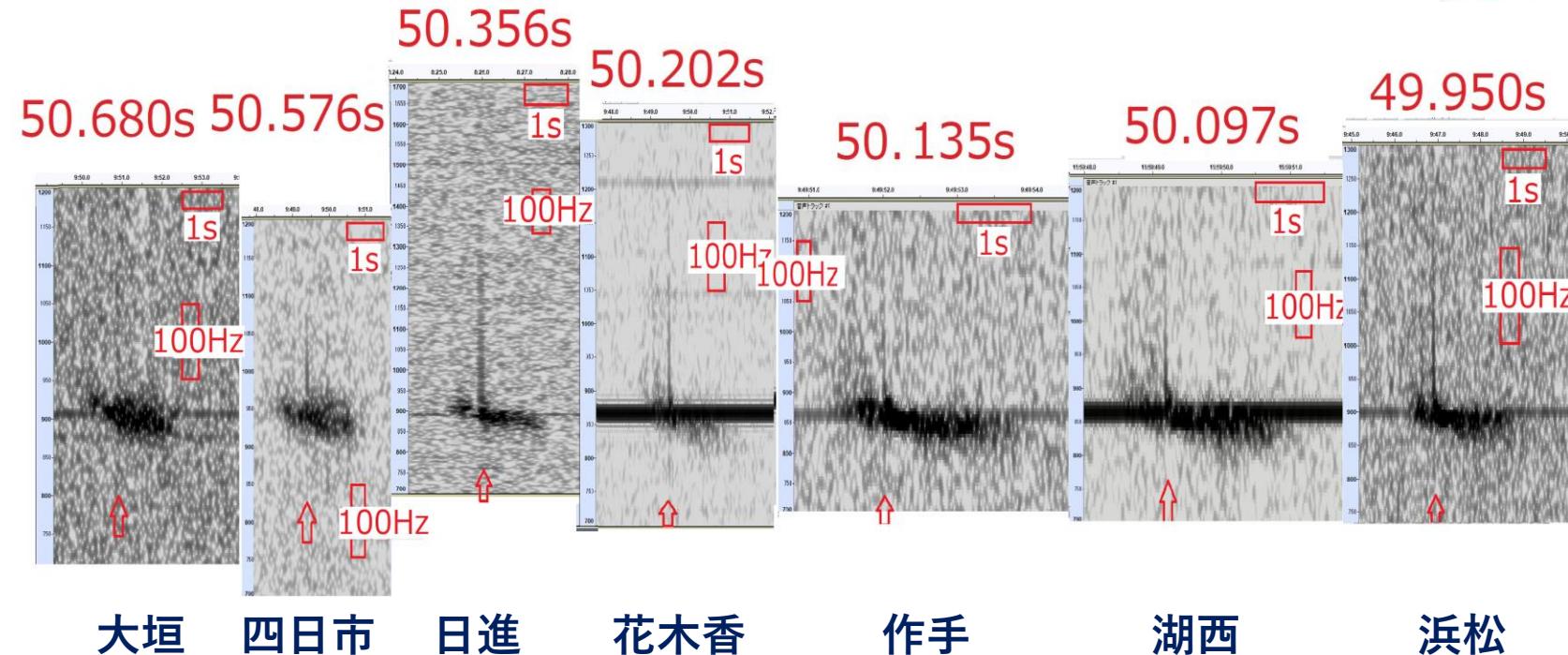
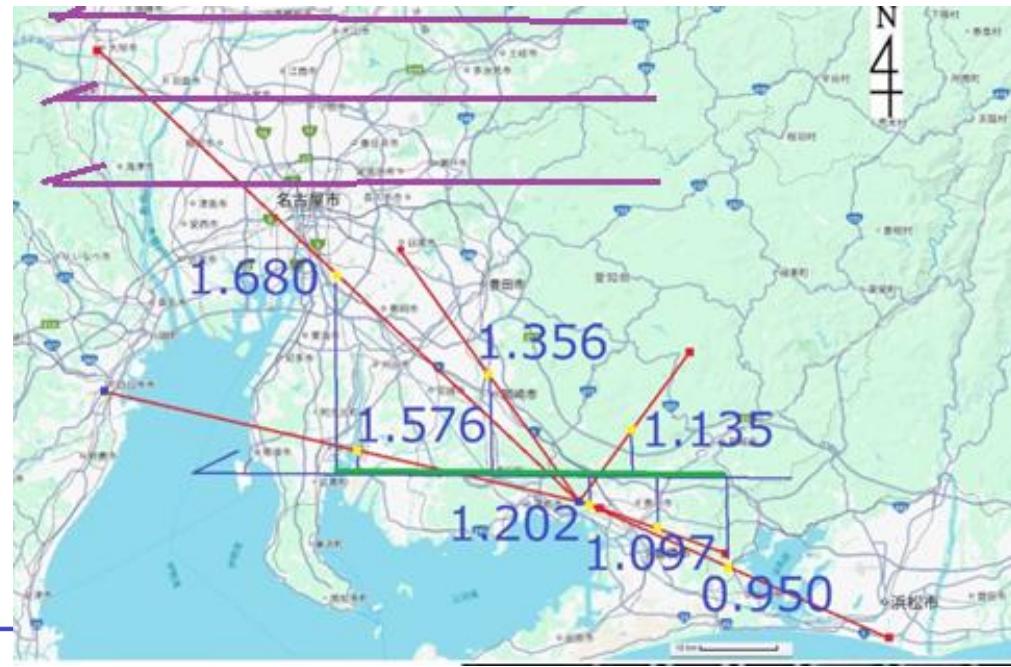
赤矢印は頭部の
ドップラーエコー
をあらわす。飛跡
エコーは頭部到達
前から受信



各サイトにおける当該流星エコー

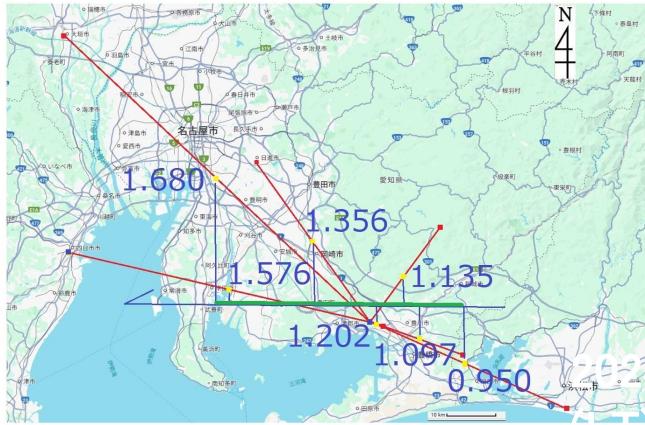
f0点（流星経路に対して送受信波が直交する点）通過時刻。解析アプリAudacityの読み取り時刻。2024年12月23日

RX(1)花木香	01時49分50.202秒
RX(2)作手	01時49分50.135秒
RX(3)湖西	01時49分50.097秒
RX(4)大垣	01時49分50.680秒
RX(5)浜松	01時49分49.950秒
RX(6)四日市	01時49分50.576秒
RX(7)日進	01時49分50.356秒

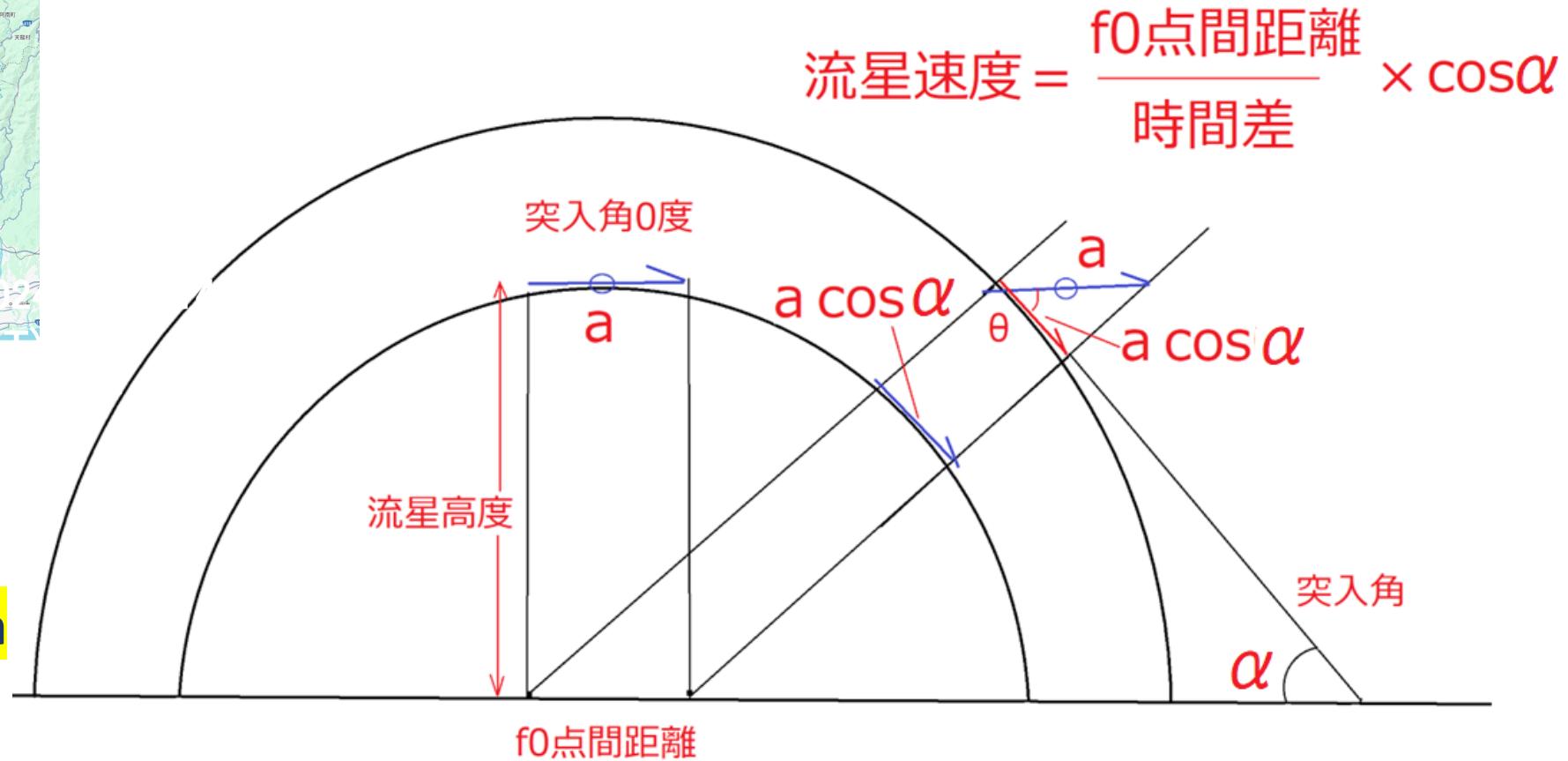


流星経路上の大垣サイト中点からのf0点-浜松サイト中点からのf0点距離(図の緑線)は地図上で50.9km.
突入角を0度とすると、この距離を0.730秒で飛行。
流星速度は $50.9\text{km}/0.730\text{秒} = 69.7\text{km/s}$

f0点間距離と経過時間から求められる流星速度



速度 : 67.5km/s,
突入角度 : 6.4°
光度 : -1.6等,
高度 : 111km → 101km
SonotaCoネットワー
クのデータをもとに
小林氏計算

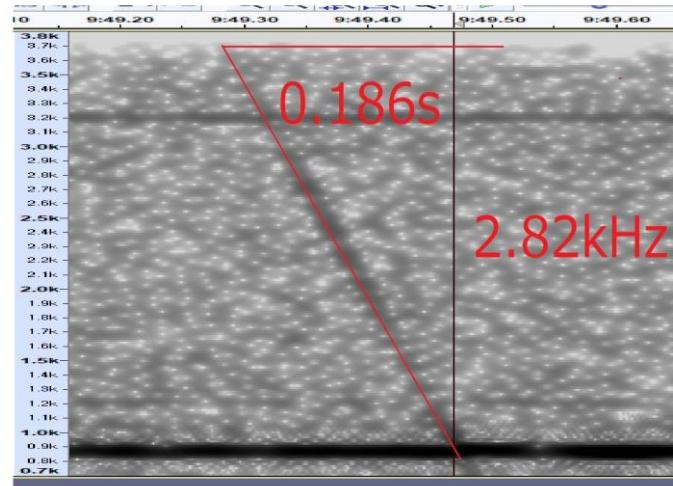


$$69.7\text{km/s} \times \cos 6^\circ = 69.3\text{km/s}$$

ドップラー周波数から求められる流星速度

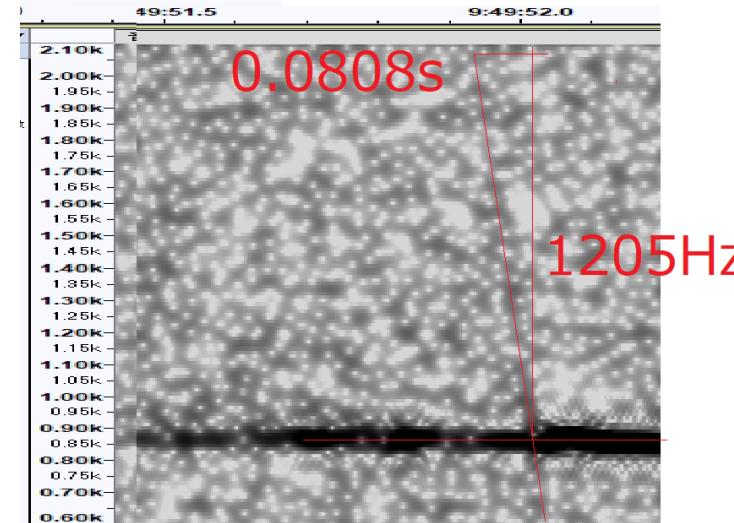
©Katoh

Hanakikou



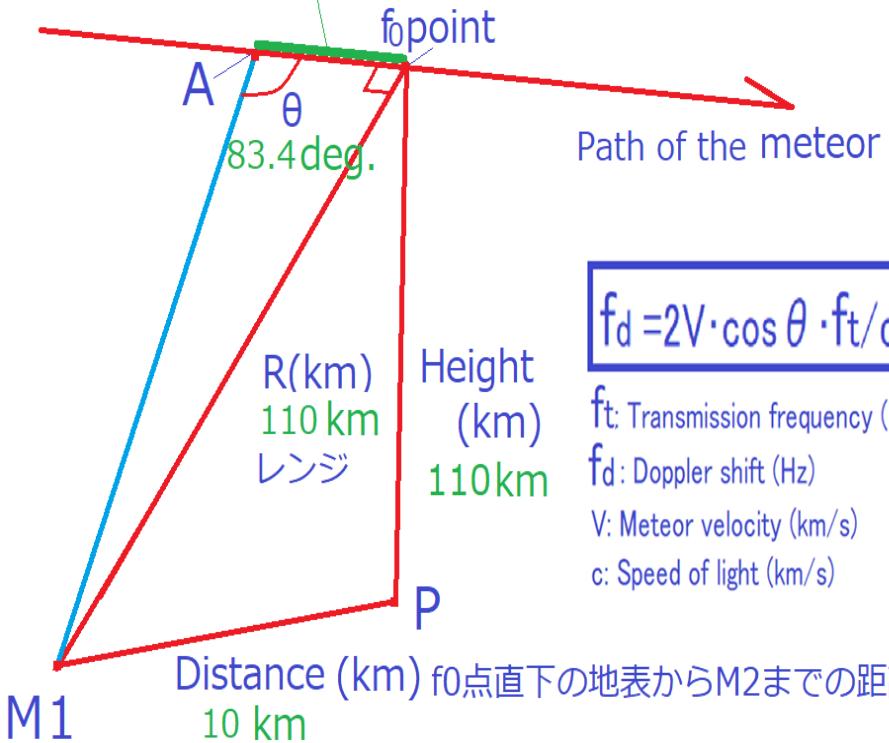
HANAKIKOU	
v=69km/s	
12.834 km	distance10km
range110 km	height110km
$\tan\alpha = 12.8/110$	0.116364
0.116411	
$\alpha = 6.64\text{deg}$	
$\theta = 83.36\text{deg}$	
0.115631	
2833.416 Hz	2823Hz

Tsukude

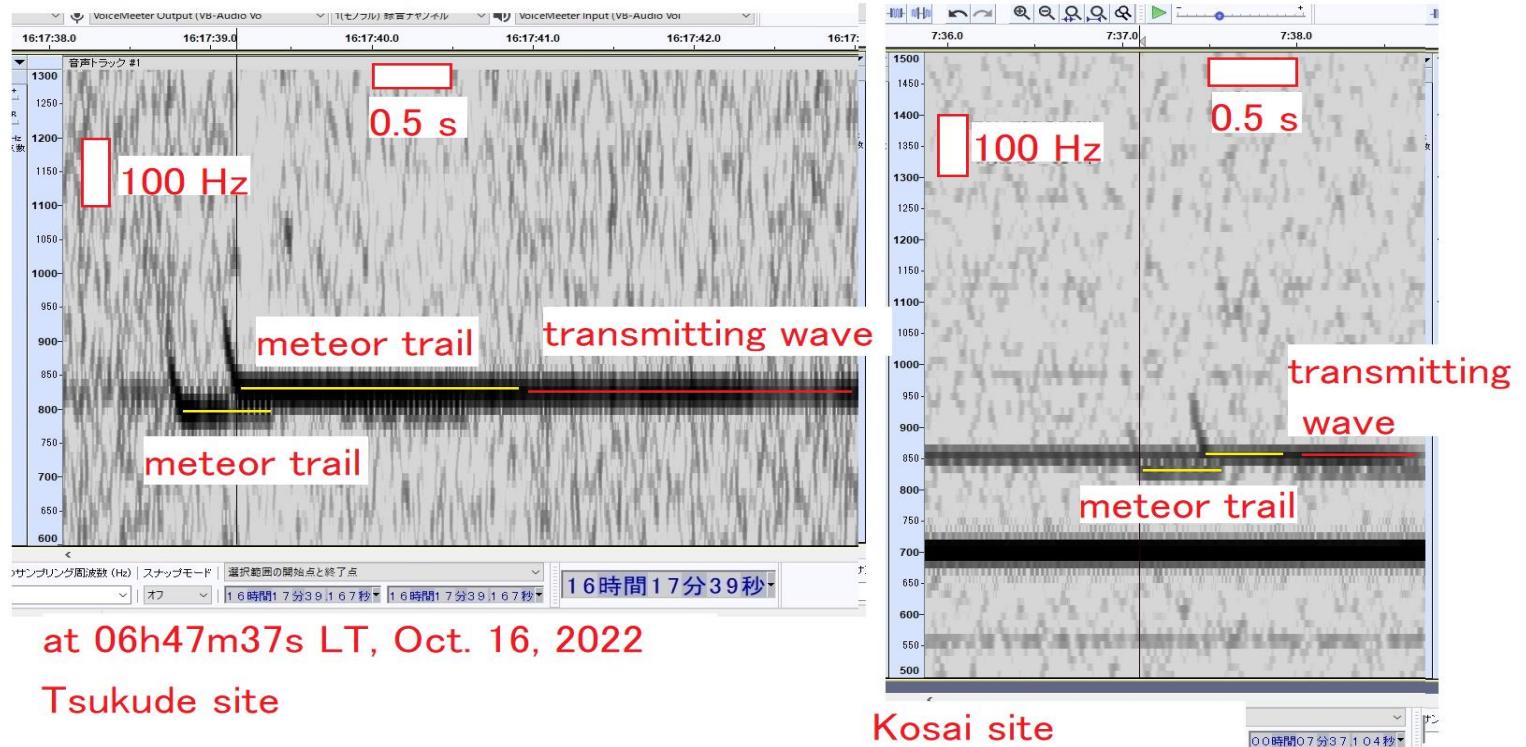
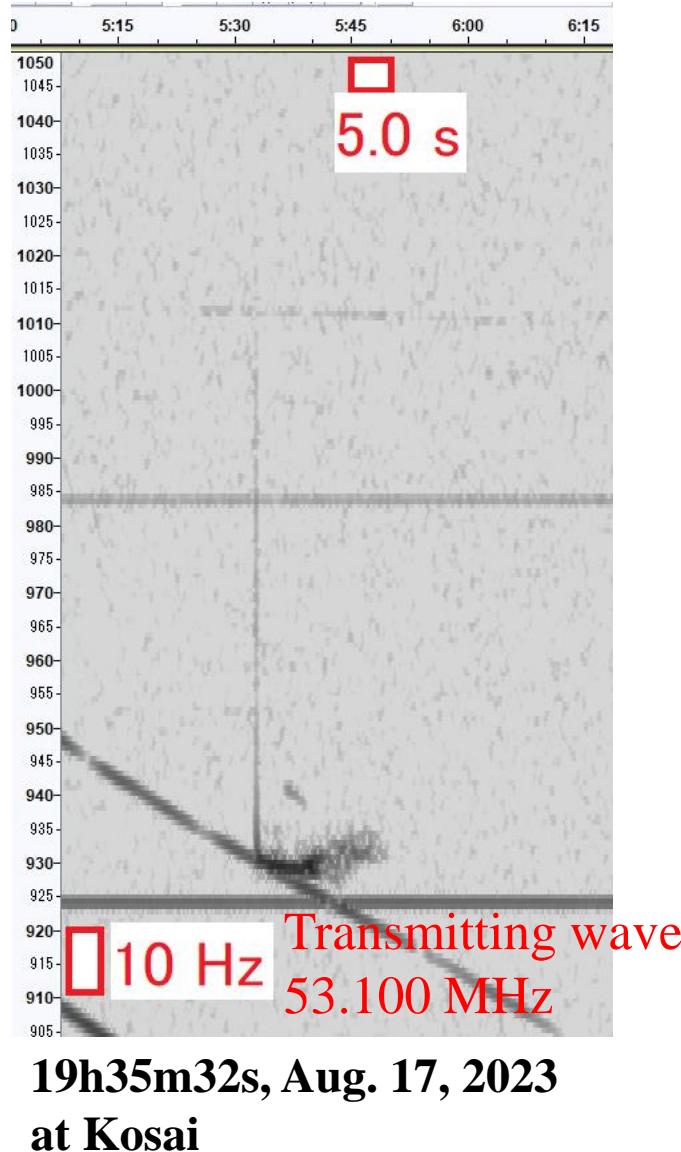


Tsukude	
v=69km/s	
5.5752 km	distance10km
range113 km	height110km
$\tan \alpha = 5.58/113$	0.049381
0.049258	
$\alpha = 2.82\text{deg}$	
$\theta = 87.18\text{deg}$	
0.049198	
1201.759 Hz	1205Hz

$$69\text{km/s} * 0.186\text{s} = 12.8\text{km}$$



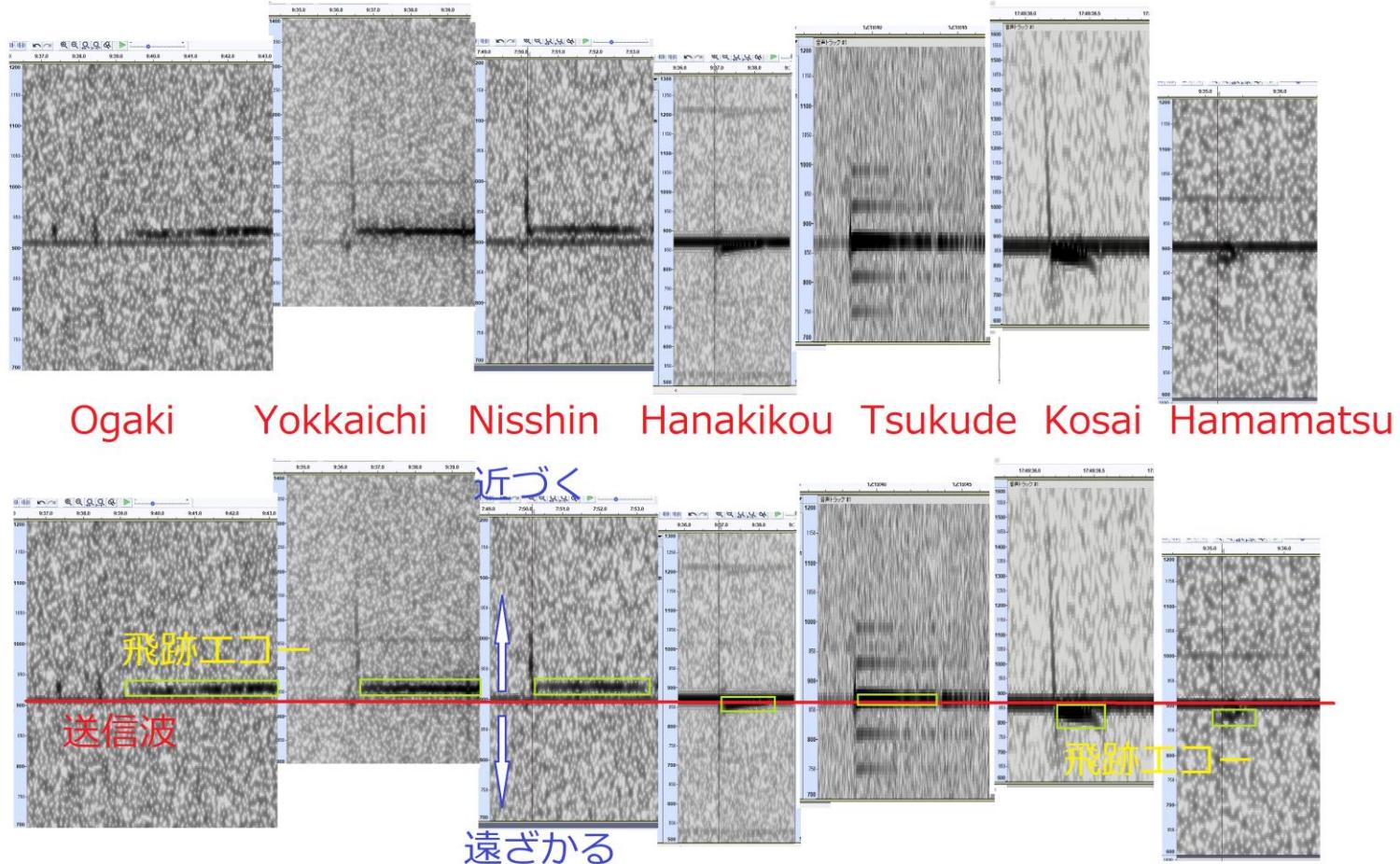
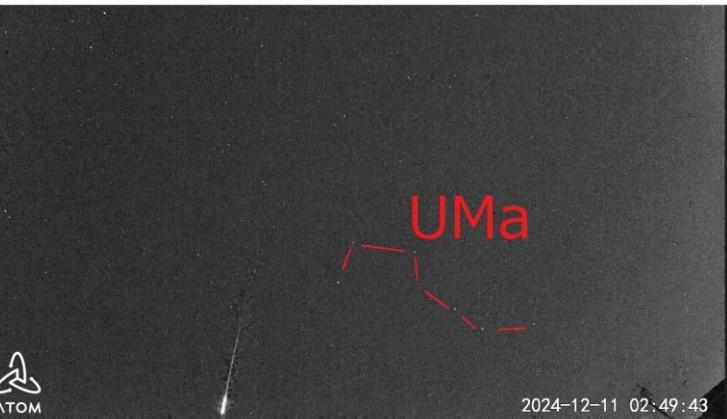
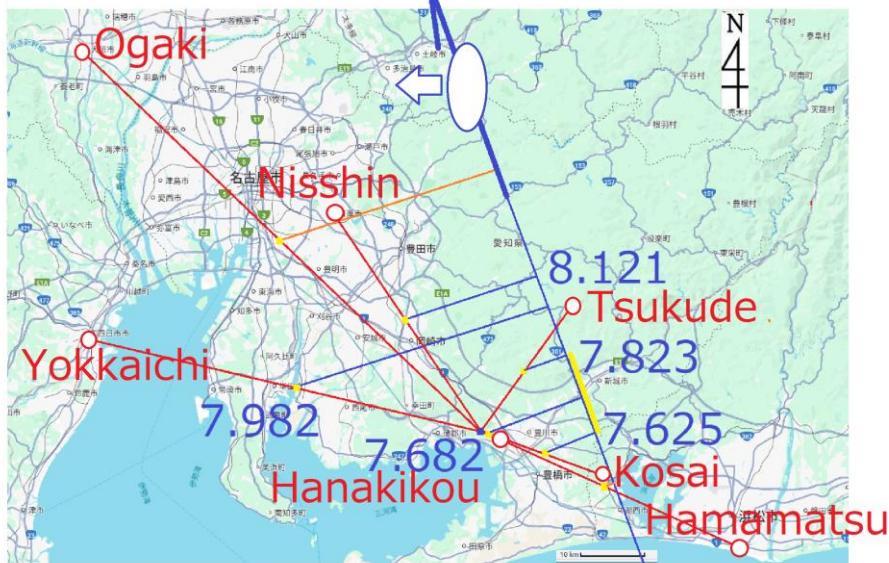
中層風速によるドップラー周波数



流星の発光高度90~100kmでは~50m/s程度の上層風が常に吹いている。この風は時刻によって強度・風向を変えている。50m/s程度で移動する物体のドップラーフレーバー周波数は~30Hz程度であり観測結果と符合している

中層風速によるドップラーワークスケルト20241211_024937

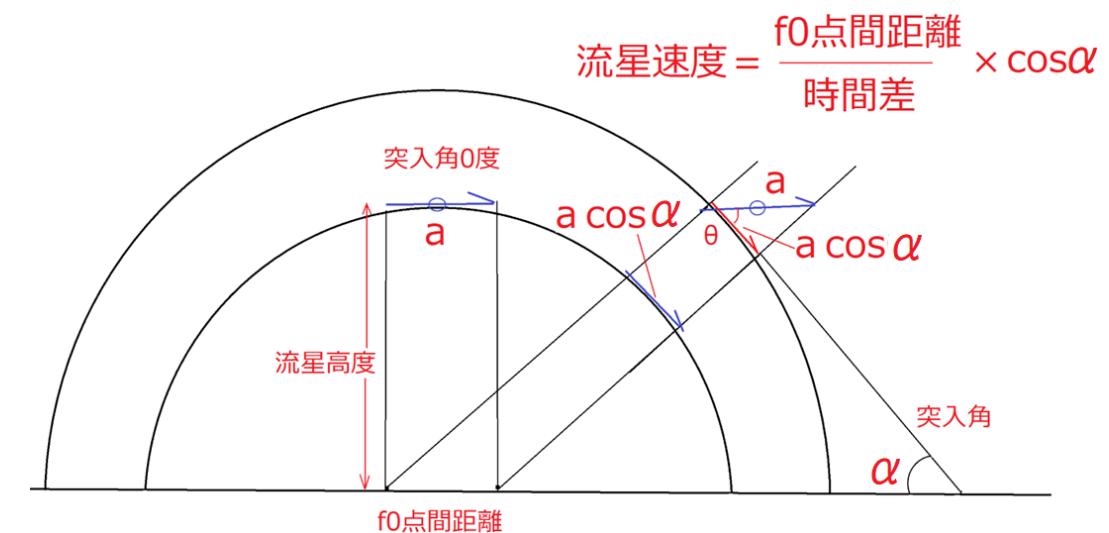
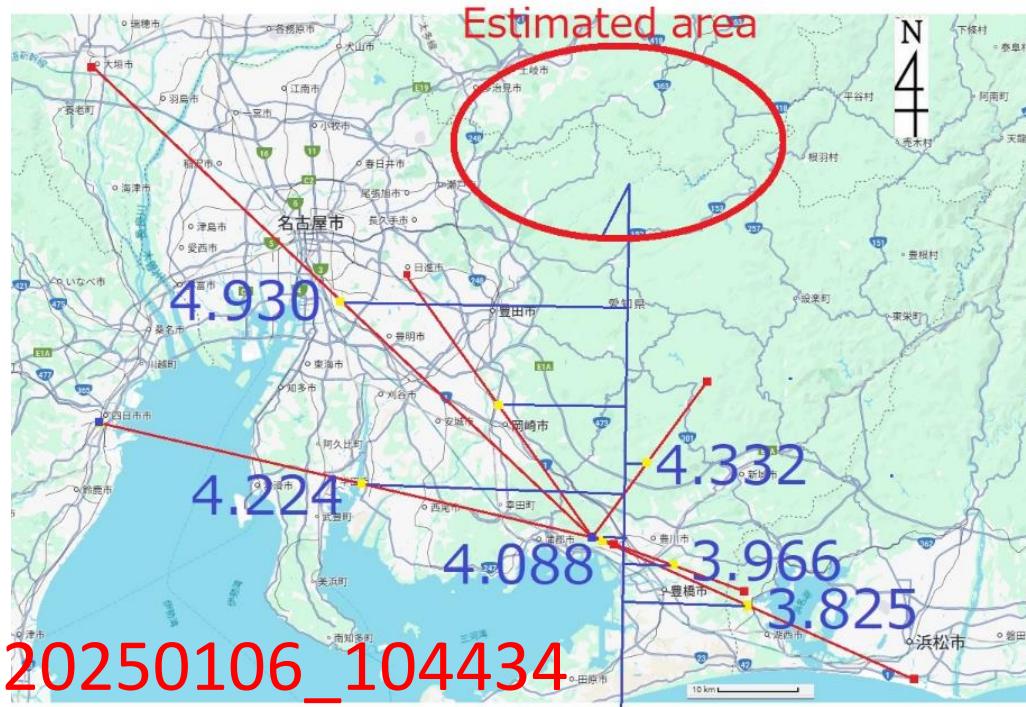
Real path



大気の中層風の風向が流星出現領域を知る手掛かりになることがある

まとめ) 流星出現経路確定への到達点(1)

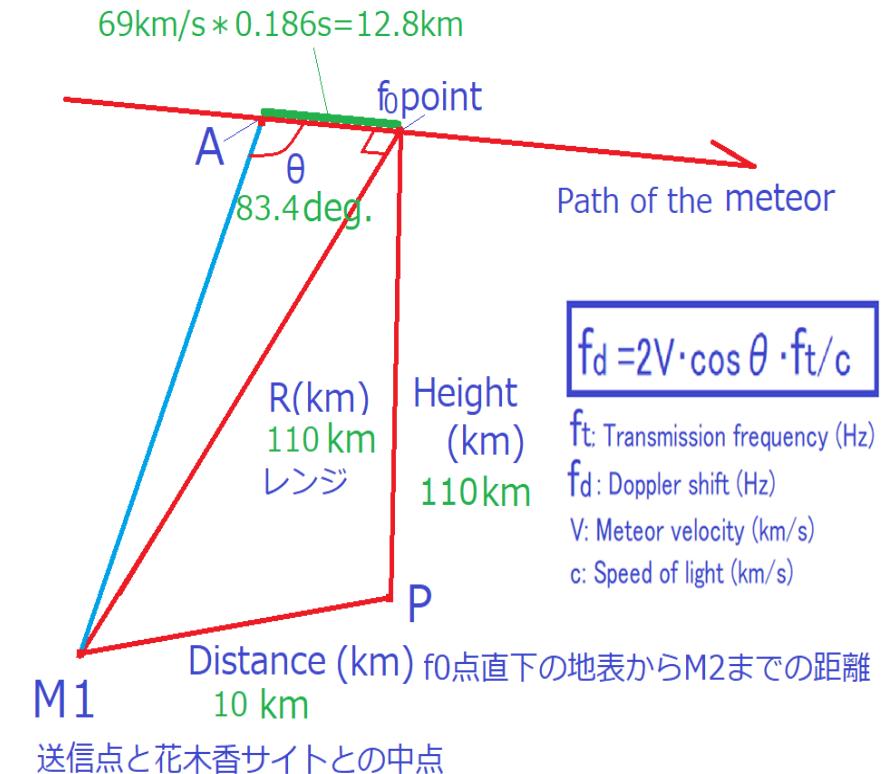
① **{確定}**各観測サイト間におけるf0点通過時刻差から流星の方向がわかる。突入角 0° の時の流星の速さ v がわかる。突入角が α° ならば、速さは $v \times \cos\alpha$ となる。突入角に応じて流星出現位置は天頂付近から高度が低い位置に移動する。



まとめ) 流星出現経路確定への到達点(2)

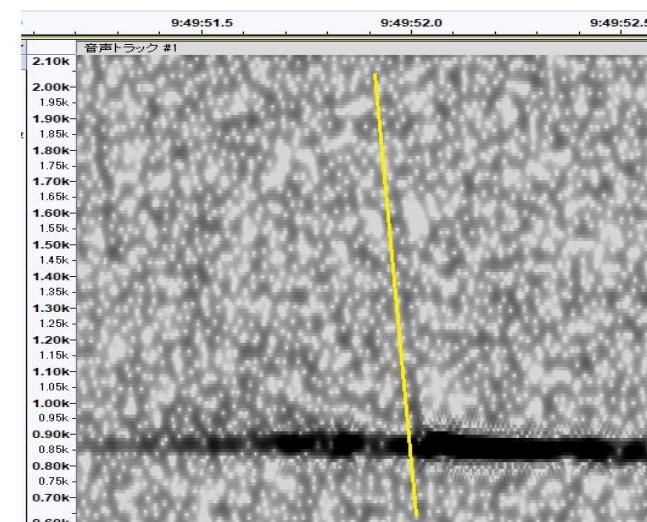
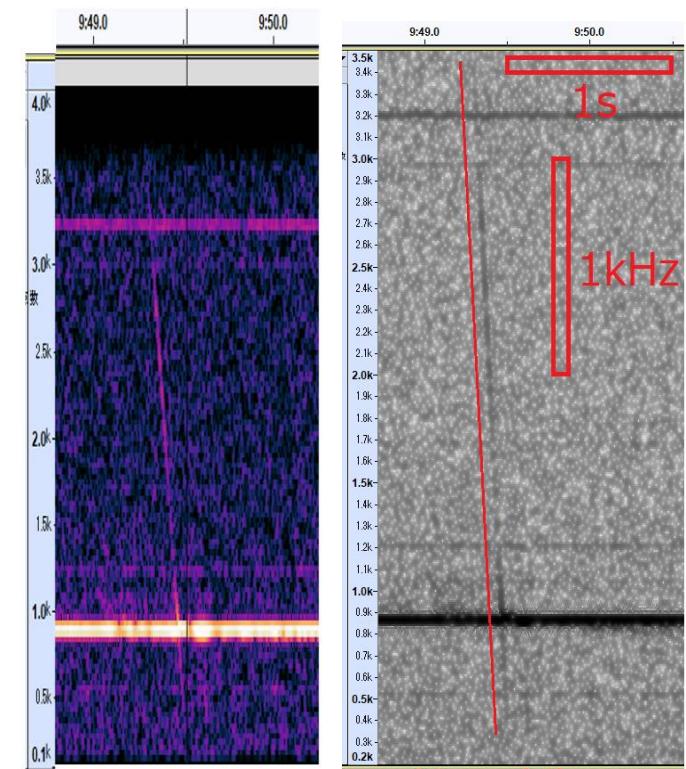
② {確定} f_0 点から t_1 秒前のドップラ一周波数が f_d (Hz)であれば流星の速さ v (f_0 点通過時刻差から推定)と流星の高さ(通常は100km近辺)を仮定すれば、観測点-送信点の中点(M1)から f_0 点までの距離(Rレンジ)が計算できる。レンジは f_0 点直下の地表面(P)から観測点-送信点中点(M1)までの距離と流星の高度(Height)を2辺とする直角三角形の斜辺である。

前のページの方法で速さが決まれば、その v からレンジRが決まる。多観測点のレンジから流星出現位置が決まる。問題は精度！



まとめ) 流星出現経路確定への到達点(3)

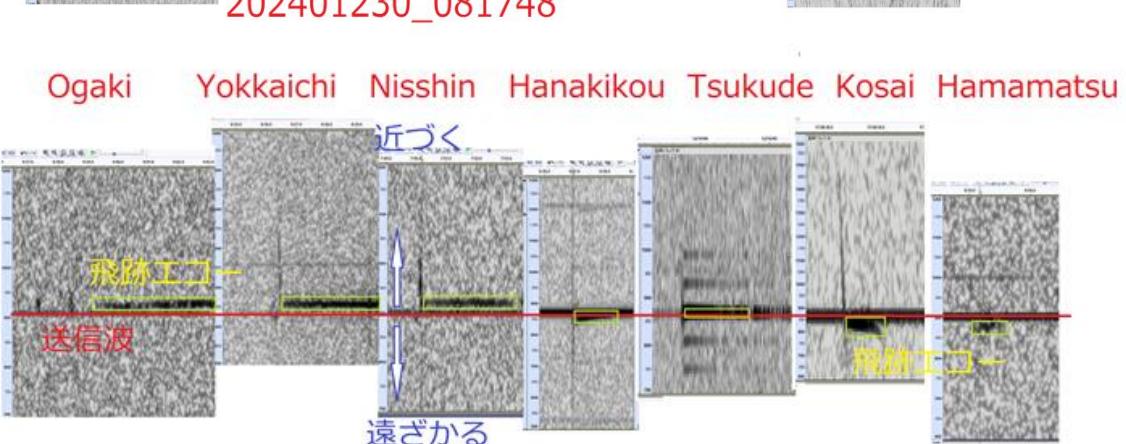
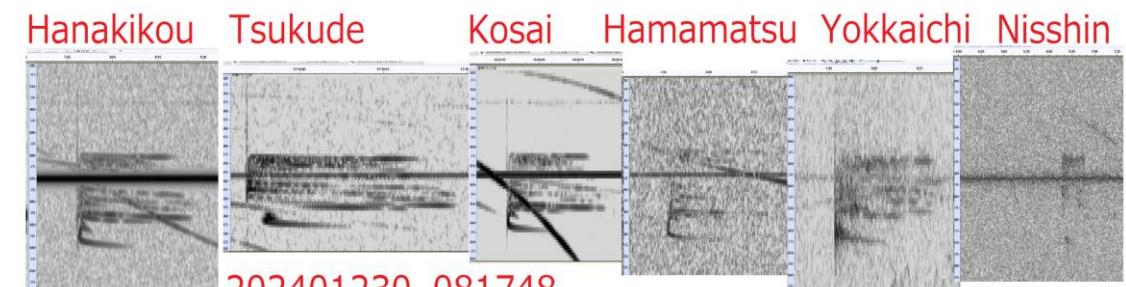
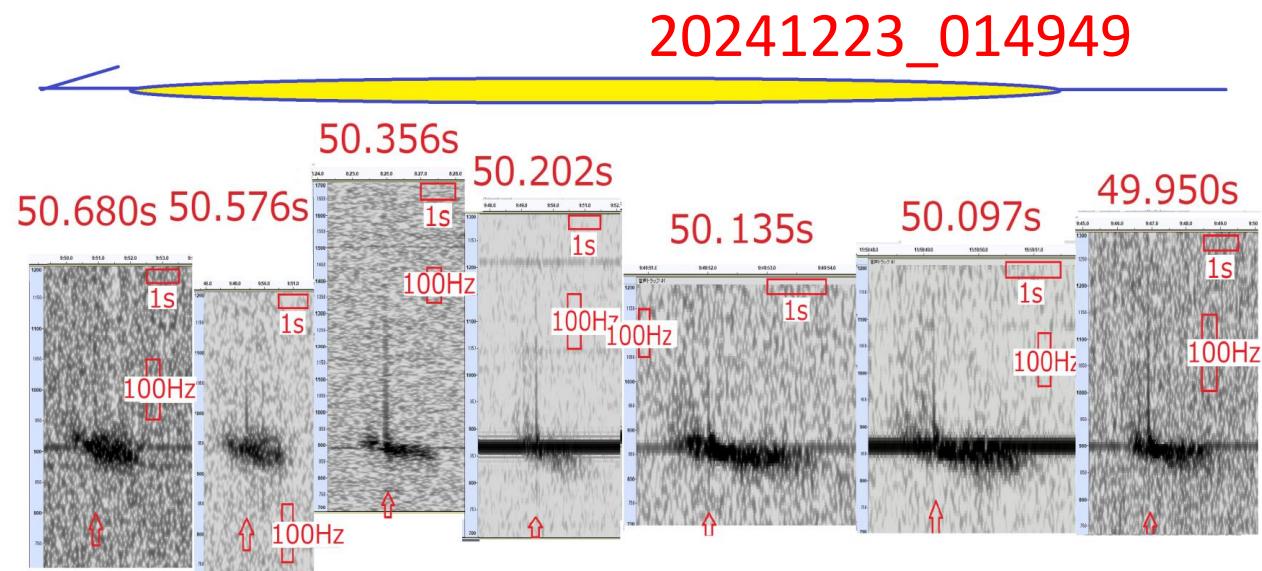
③ {確定ではない} 最低でも1か所の観測サイトで1kHzを超えるようなドップラ一周波数が得られれば、流星の突入角は一般的に小さい。大きくとも 30° 以内 ($\cos 30^\circ = 0.866$)。流星は観測サイト群の上空付近に出現したと考えられる。突入角が0度でなければ流星の出現領域は天球の半分（消滅点側半球）に特定できる。ドップラ一周波数の最大値を記録した観測サイトからのf0点までのレンジが最も小さくなる。



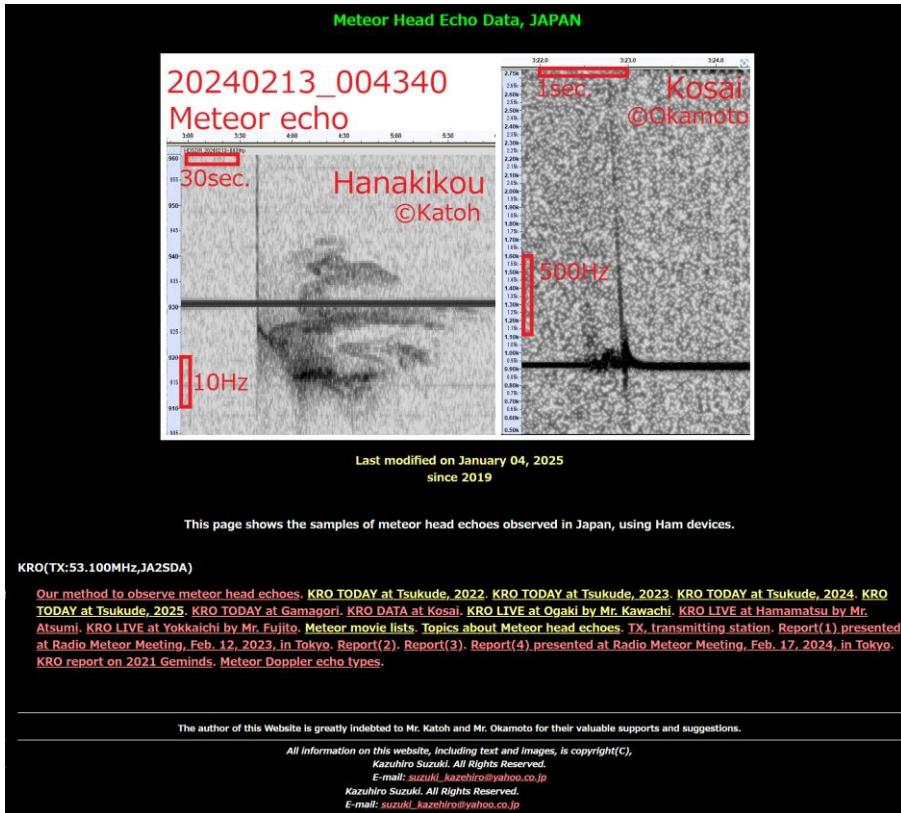
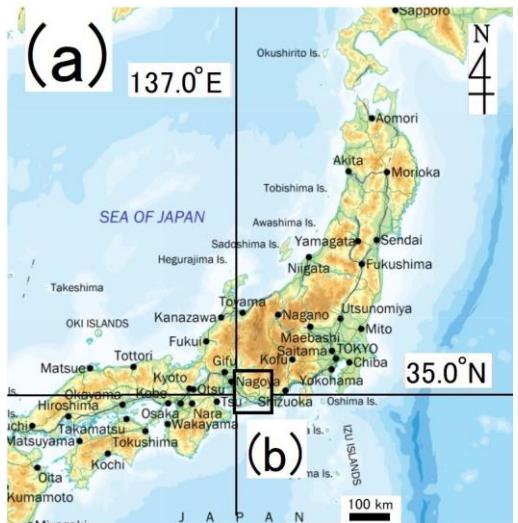
Tsukude

まとめ) 流星出現経路確定への到達点(4)

④ {確定ではない}中層風によるドップラー周波数の向き
(±)と大きさはレンジが大きくなない(近くに出現した)流星に限って各観測サイトで特徴的な様態となる。レンジが大きな流星からの中層風ドップラーシフト波形は各観測サイトで大きな差異がなくなる。



あなたも火球探索の仲間に！



・このプロジェクトの
主目的は**昼間の火球経
路決定ならびに太陽系
外流星の検出**です。

流星ヘッドエコー情報サイト
<http://www.headecho.sakura.ne.jp/MHEDJ.htm>

私たちの電波観測のカバー領域は半径100km程度。出力は50W
あると良い。送信にはアマチュア無線の免許が必要。昼間や曇天
時の火球監視が直ちに可能。最低3ヶ所の観測点が必須