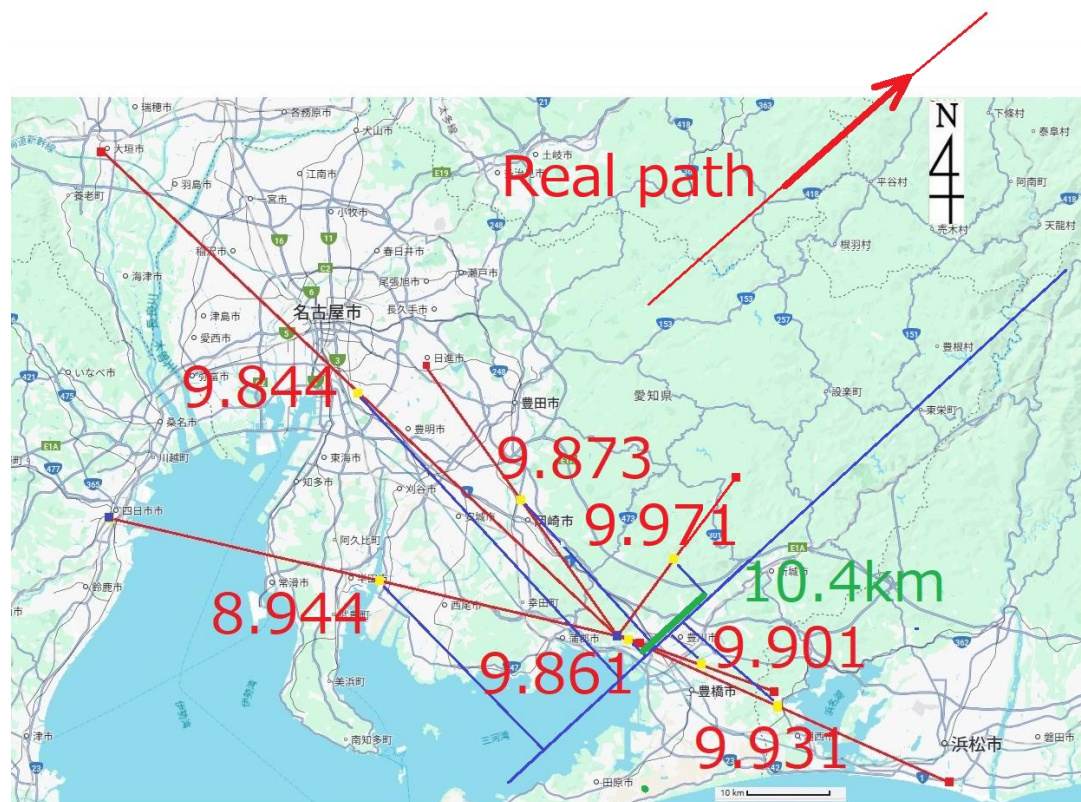


7点同時電波観測による 昼間高速流星諸量の推定



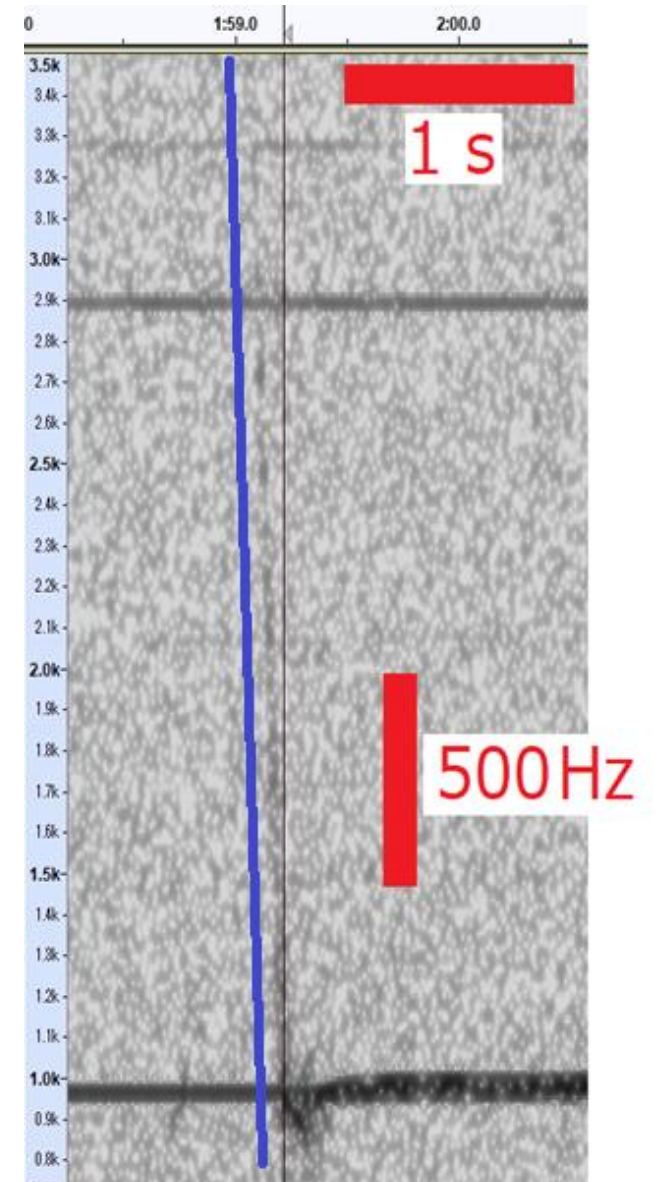
$$10.4\text{km}/0.110=94.5\text{km/s}$$

$$94.5 \cdot \cos 35\text{deg} = 94.5 \cdot 0.819 = 77.4\text{km/s}$$

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)

本報告の流れ

- 私たちの流星電波観測で得られる**流星頭部**
ドップラーエコーと飛跡エコー
- 東海地方流星電波観測**サイト・ラインアップ**
- **2025年06月20日06時41分59秒**の各サイトの
頭部ドップラーエコープロフィール
- 各サイトの**f0点通過時刻差**から求められる**流星の**
方向と速度
- 流星エコーの**ドップラー周波数**から求められる
流星諸量
- **太陽系外起源流星**の可能性

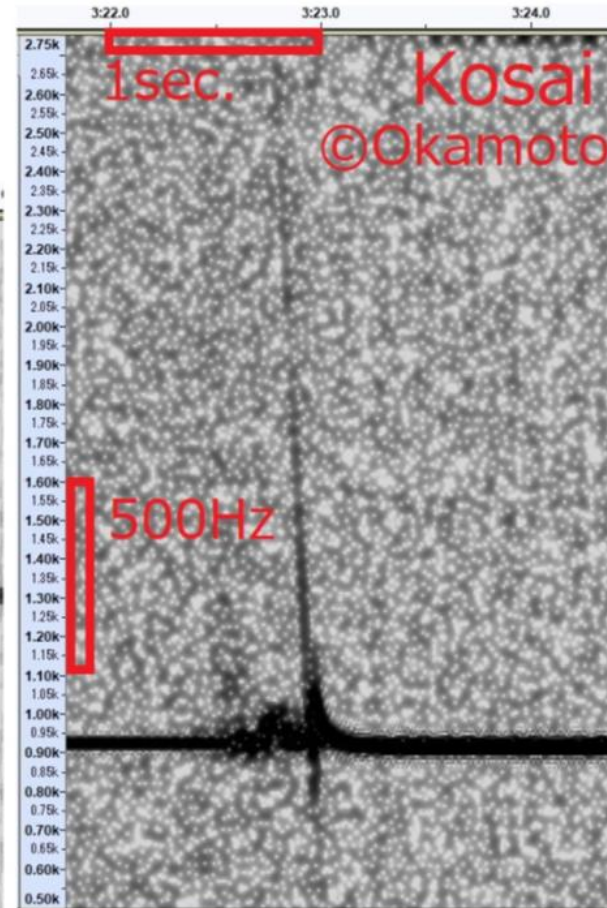
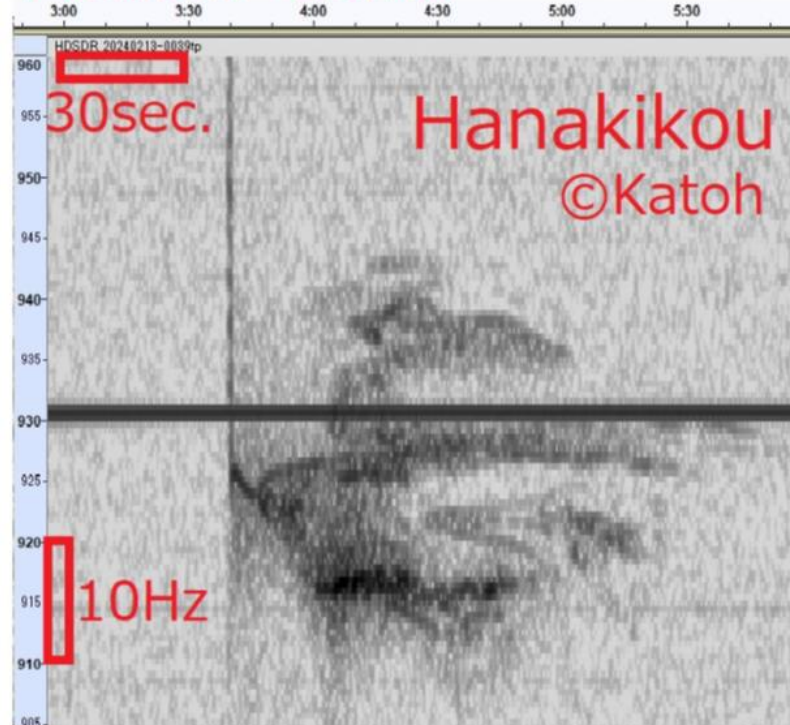


©Katoh

得られる2種の流星ドップラーエコー

永続痕の電離雲は中層大気の風速に依拠するドップラー周波数が読みとれる

20240213_004340
Meteor echo



流星本体を取り巻く電離雲は本体の速度に依拠するドップラー周波数が読みとれる

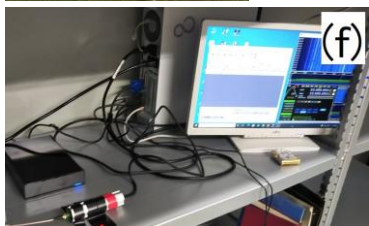
時間（横軸）・周波数（縦軸）スケールに注目ください。
左：飛跡からのドップラーエコー， 右：頭部からのドップラーエコー

KRO観測サイト

受信アンテナ
(作手サイト)
RX(2)



受信装置



送信機

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)



SDR, PC, HD
RX(1)
受信装置



RX(3)



受信アンテナ
RX(3)
受信装置

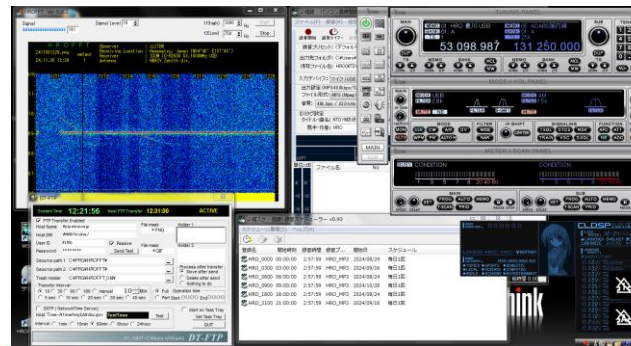


送信波は53.1MHz, 50W, 継続波。
9分送信, 1分停波。現在送信点
は豊川市御津町, 受信点は7点。
御津町, 新城市, 湖西市, 大垣市,
浜松市, 四日市市, 日進市

各観測サイト



受信アンテナ(大垣)



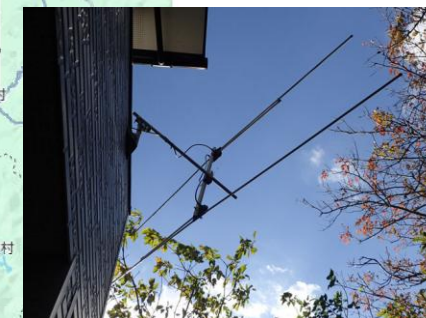
受信装置(浜松)



受信装置(大垣)



←受信装置・受信アンテナ(四日市)

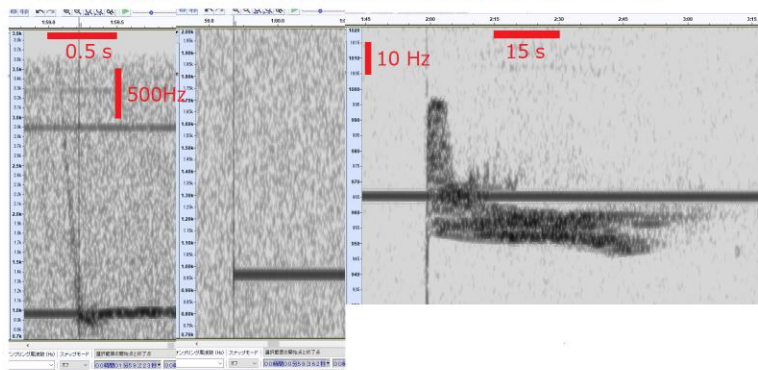


受信アンテナ(浜松)

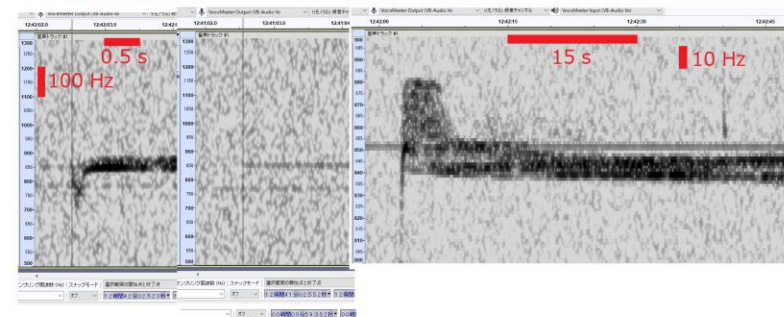


2025年6月20日06時41分59秒(LT) の各サイトにおけるエコー波形

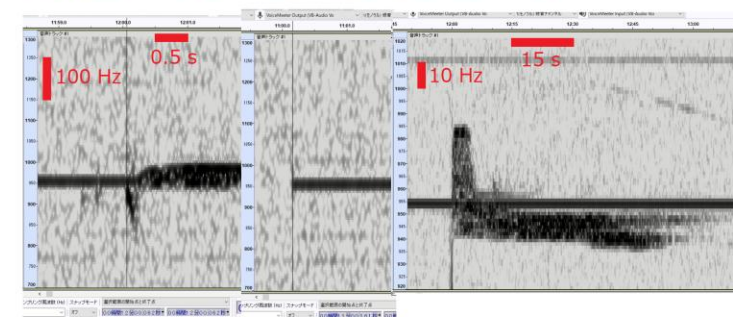
Hanakiko 06h41m59.861s ©Katoh



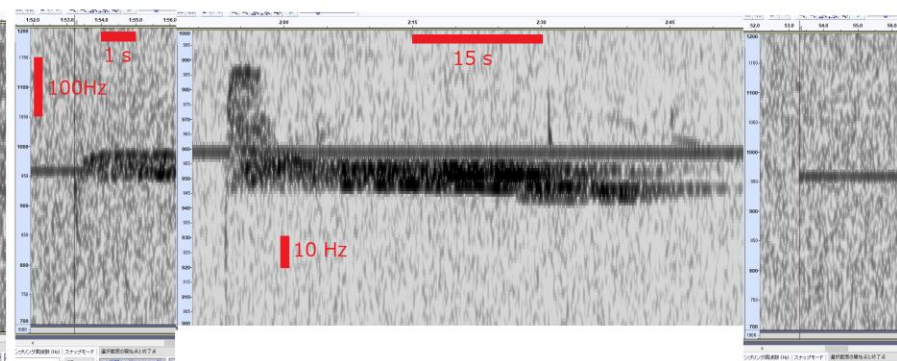
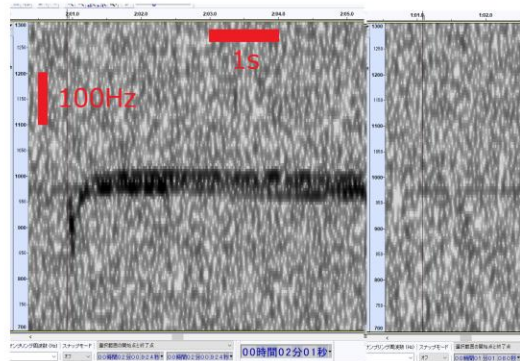
Tsukude 06h41m59.971s ©Suzuki



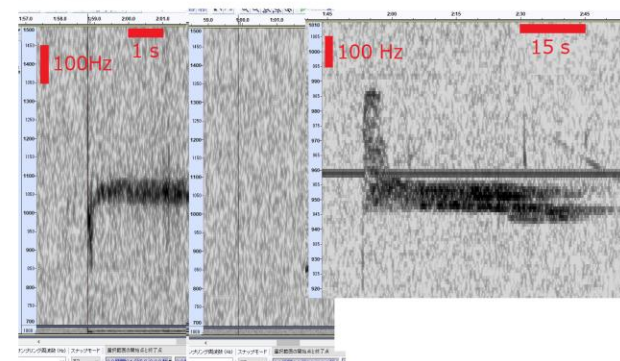
Kosai 06h41m59.901s ©Okamoto



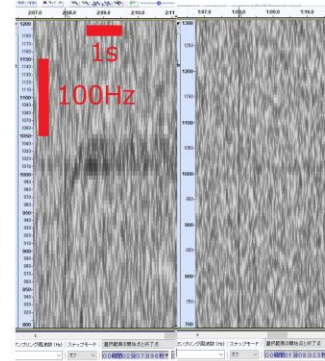
Osaki 06h41m59.844s Hamamatsu 06h41m59.931s



Yokkaichi 06h41m58.944 s



Nisshin 06h41m59.873s



©Kawachi

©Atsumi

©Fujito

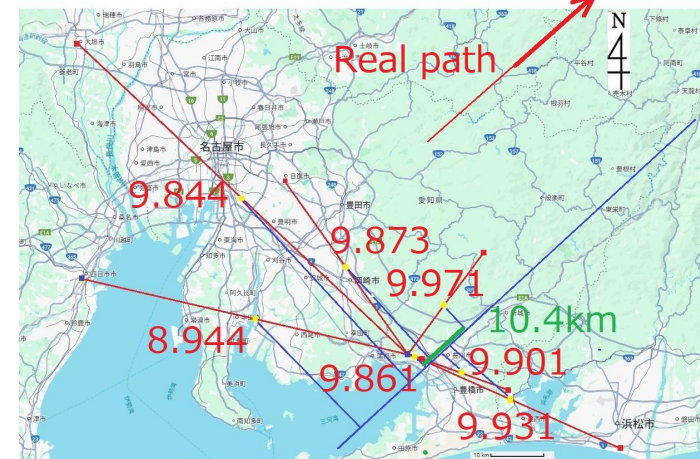
©Okamoto

各点の流星頭部 ドップラー 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。2025年06月20日(LT)

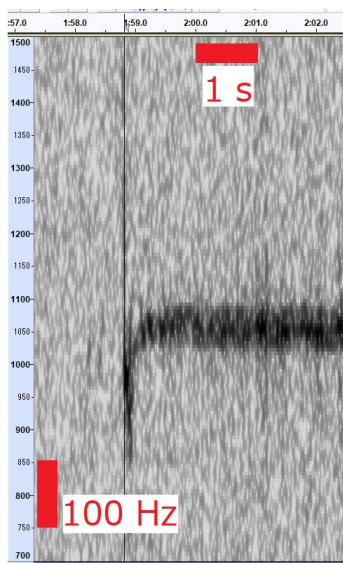
RX(1)花木香
RX(2)作手
RX(3)湖西
RX(4)大垣
RX(5)浜松
RX(6)四日市
RX(7)日進

06時41分59.861秒
06時41分59.971秒
06時41分59.901秒
06時41分59.844秒
06時41分59.931秒
06時41分58.944秒
06時41分59.873秒

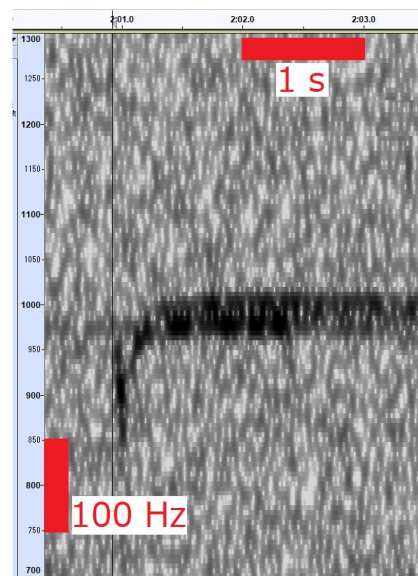


$10.4\text{km}/0.110 = 94.5\text{km/s}$

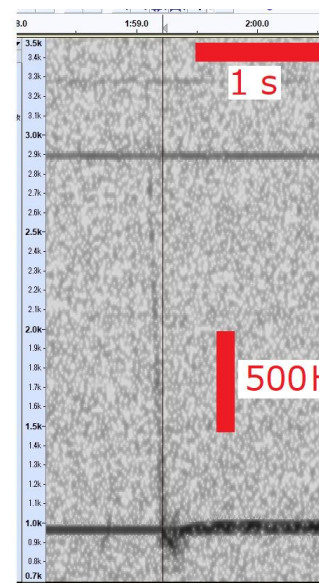
$94.5 * \cos 35\text{deg} = 94.5 * 0.819 = 77.4\text{km/s}$



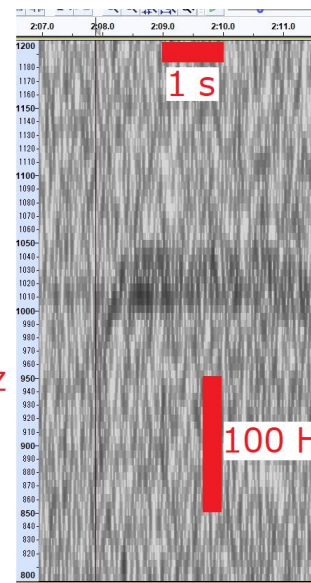
四日市



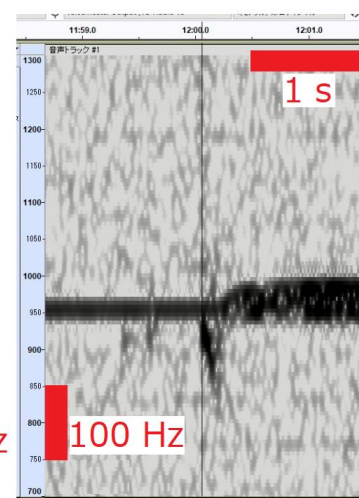
大垣



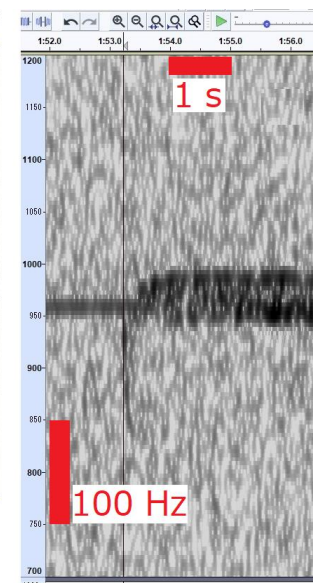
花木香



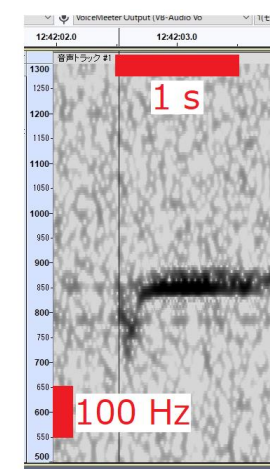
日進



湖西



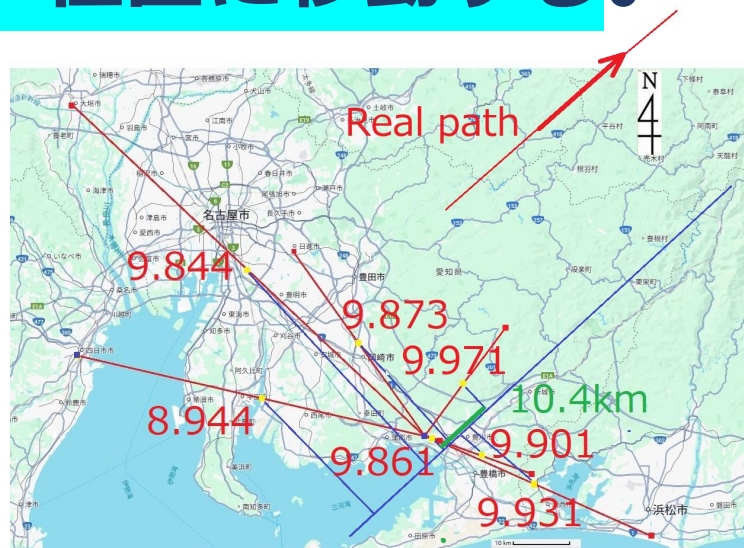
浜松



作手

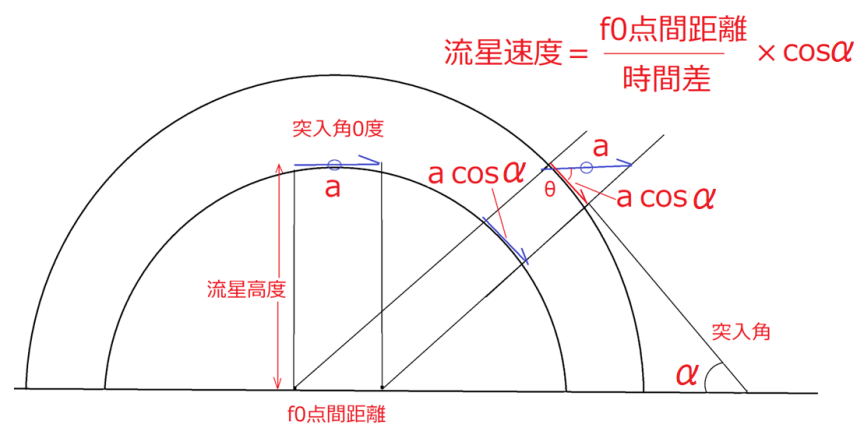
f0点通過時刻差より流星方向と速度概算

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確定する。更に突入角 0° の場合の流星速度 v がわかる。突入角が α° ならば、速度は $v \times \cos \alpha$ 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。

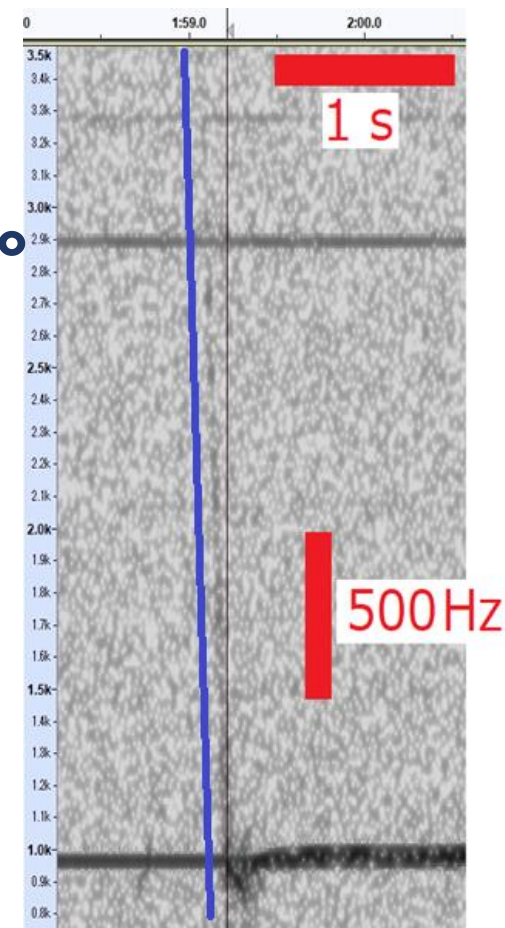


$$10.4\text{km}/0.110 = 94.5\text{km/s}$$

$$94.5 \times \cos 35^\circ = 94.5 \times 0.819 = 77.4\text{km/s}$$



$$\text{流星速度} = \frac{\text{f0点間距離}}{\text{時間差}} \times \cos \alpha$$



©Katoh

3サイトにおける頭部ドップラーエコー

各サイトにおいて、f0点まで何秒の時点でドップラー周波数がどれだけだったかを示す

Hanakiko

©KatoH

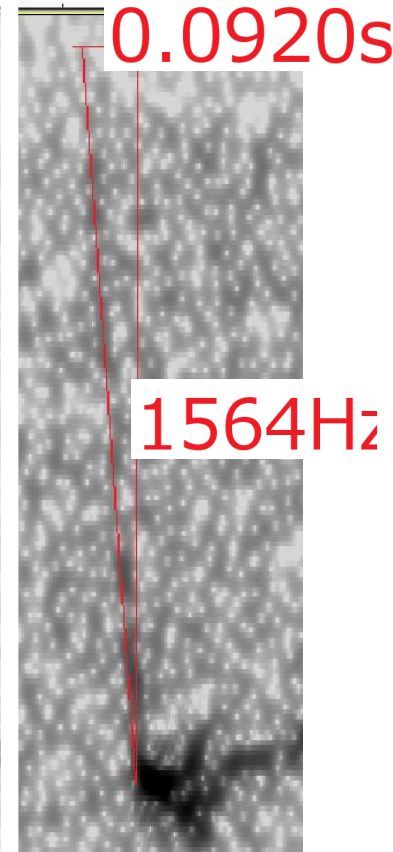
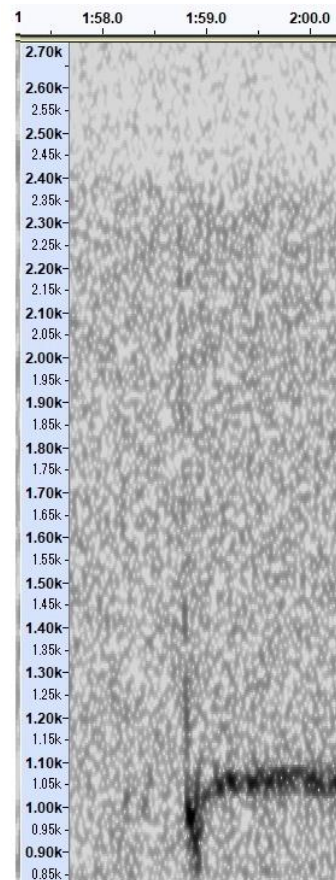
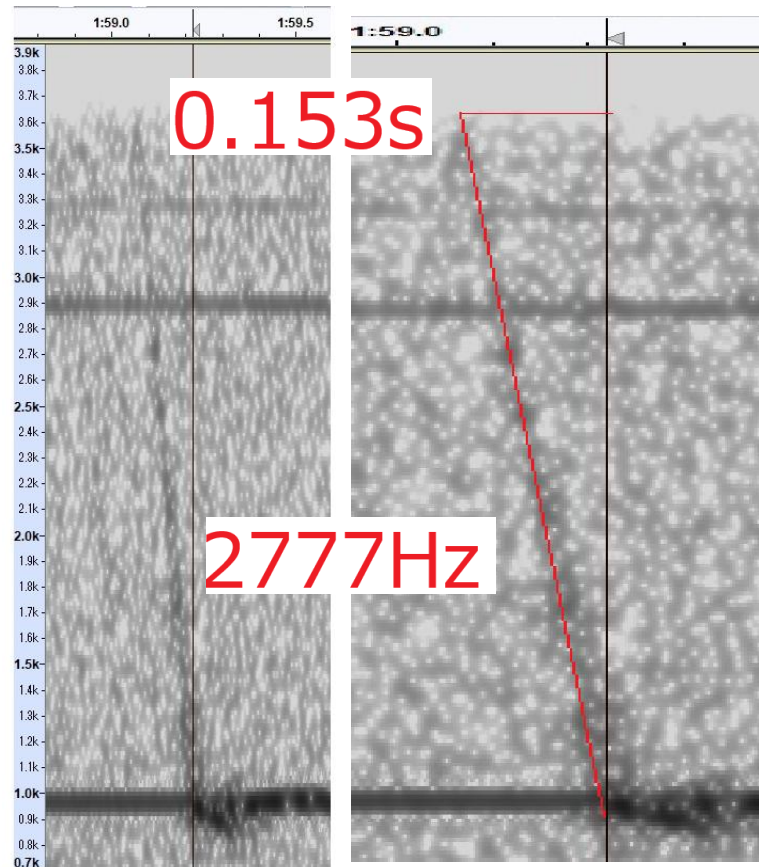
Yokkaichi

©Fujito

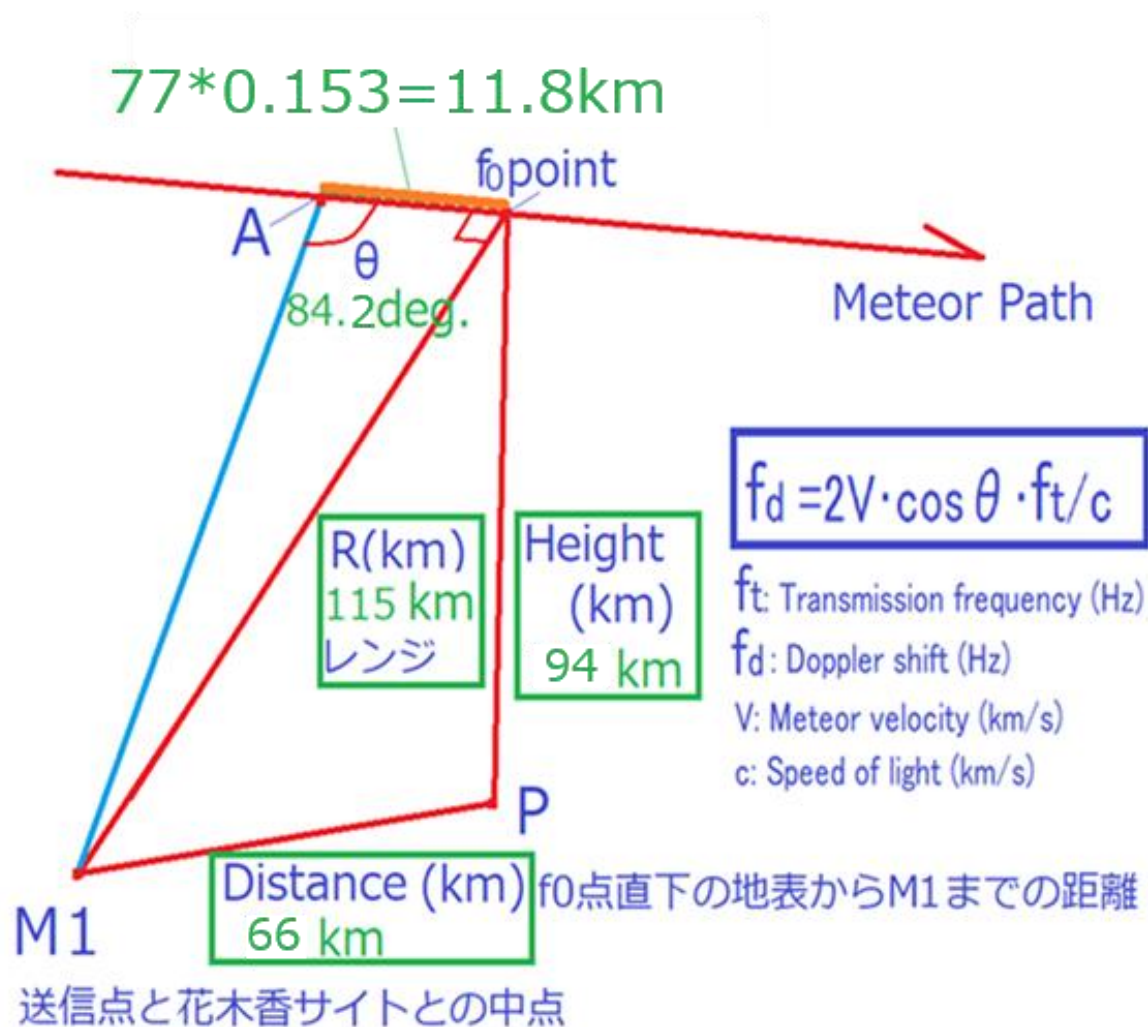
Kosai

©Okamoto

周波数(Hz)



ドップラー周波数とレンジと流星速度の関係



$$f_d = 2V \cdot \cos \theta \cdot f_t / c$$

ドップラー周波数 = $2 \times$ 流星速度 $\times \cos \theta \times$ 送信周波数 / 光速

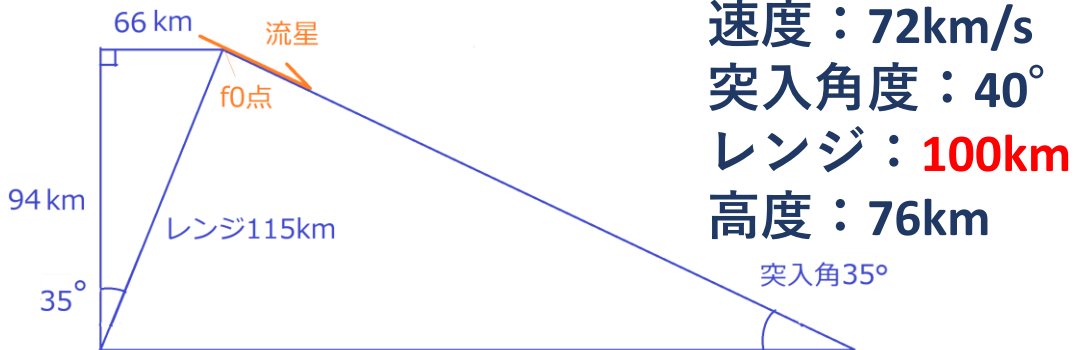
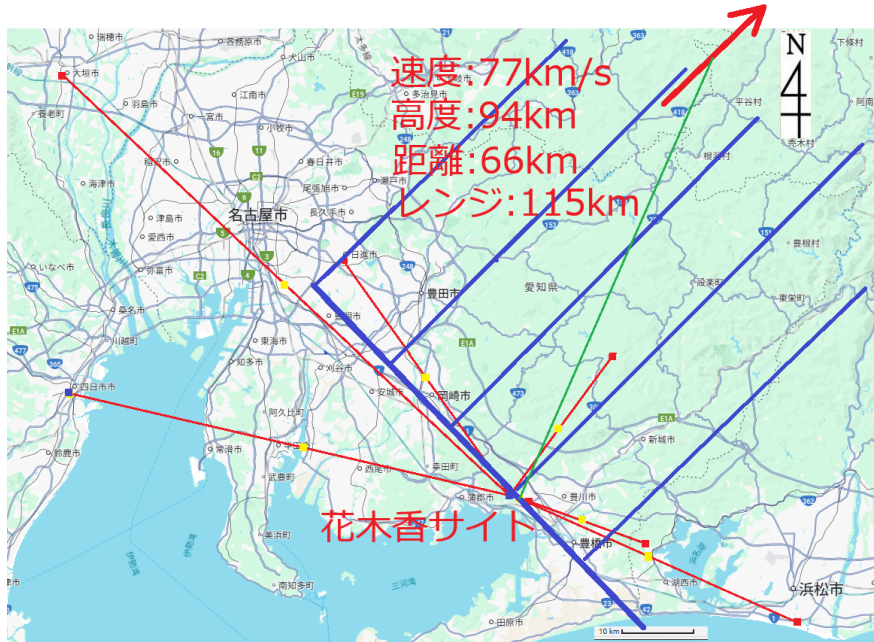
観測値 = $2 \times$ 流星速度 $\times \cos \theta \times$ 送信周波数 / 光速

流星速度	95 km/s, 82 km/s, 77 km/s
(突入角)	0° 30° 35°

$\tan \theta = L / R$ から θ は求められる。

$$L = 77 \cdot 0.153 = 11.8 \text{ km}$$

花木香サイトのドップラー周波数とレンジと流星速度



花木香サイト

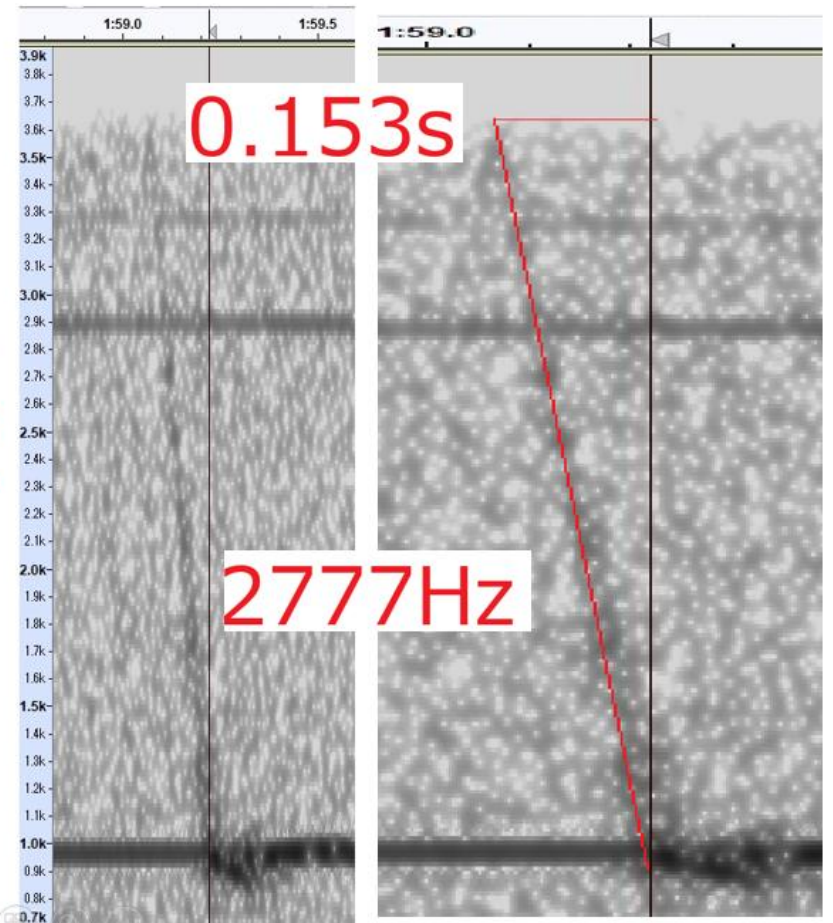
速度：95 km/s
突入角度：0°
レンジ：175km
高度：172km

速度：82km/s
突入角度：30°
レンジ：131km
高度：113km

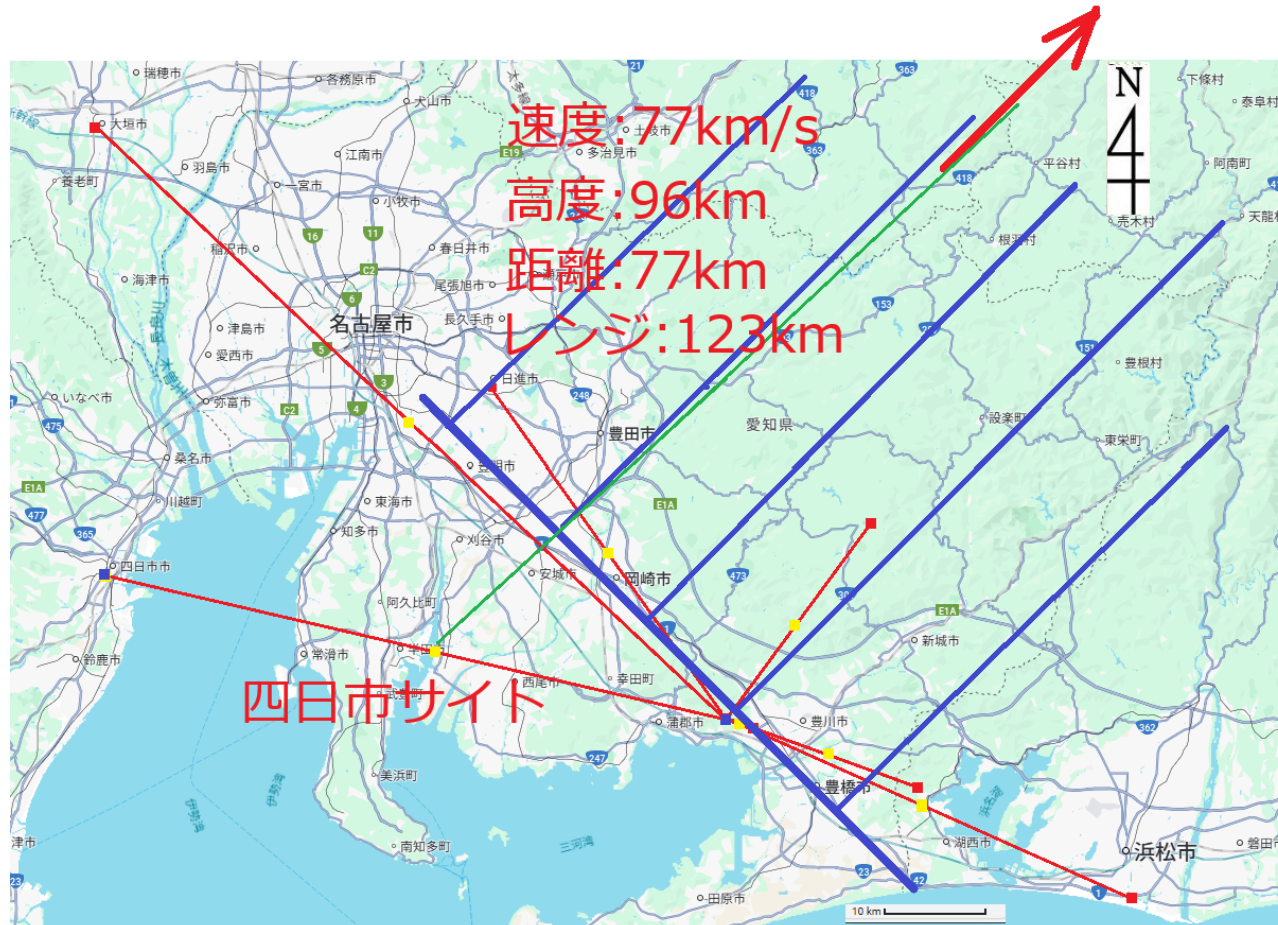
速度：77km/s
突入角度：35°
レンジ：115km
高度：94km
距離：66km

Hanakiko

©KatoH



四日市サイトのドップラー周波数とレンジと流星速度



四日市サイト

速度: 82 km/s
突入角度: 30°
レンジ: 139km

速度: 77km/s
突入角度: 35°
レンジ: 123km
高度: 96km
距離: 77km

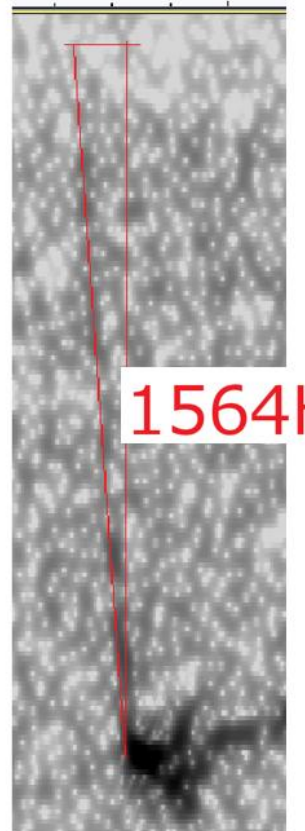
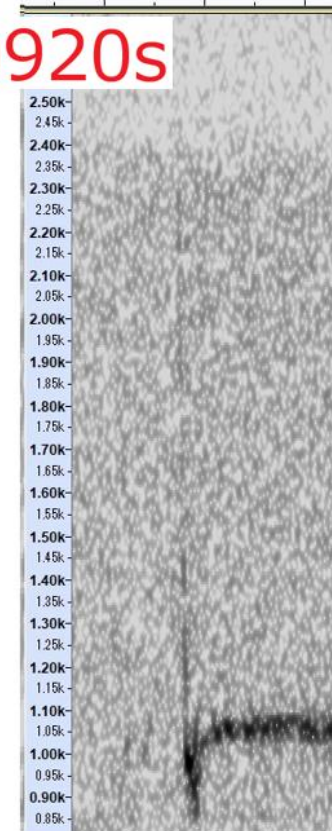
速度: 72km/s
突入角度: 40°
レンジ: 108km

Yokkaichi

©Fujito

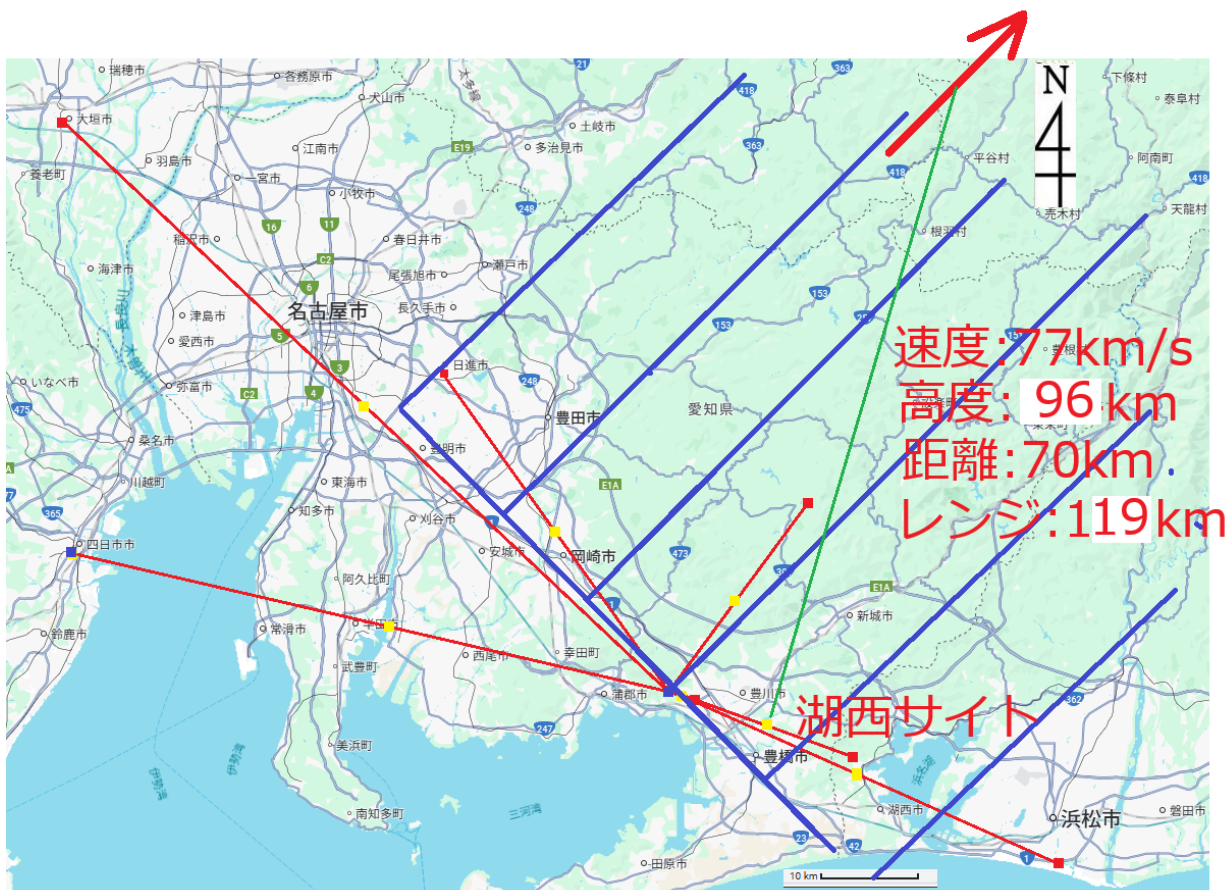
0.0920s

1 1:58.0 1:59.0 2:00.0



1564Hz

湖西サイトのドップラー周波数とレンジと流星速度

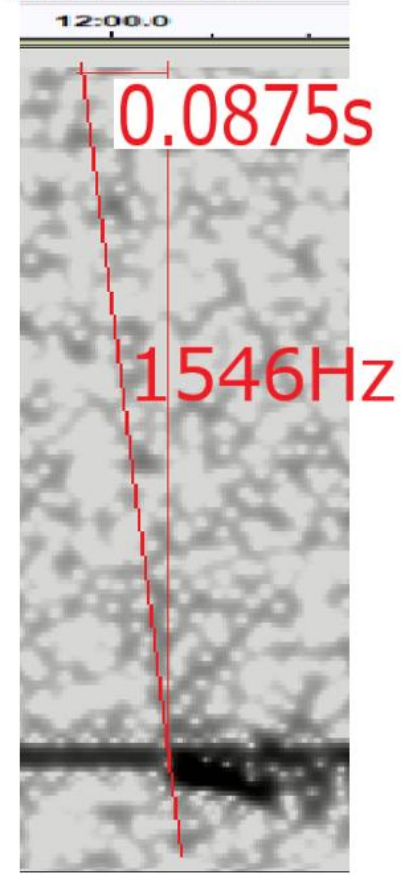
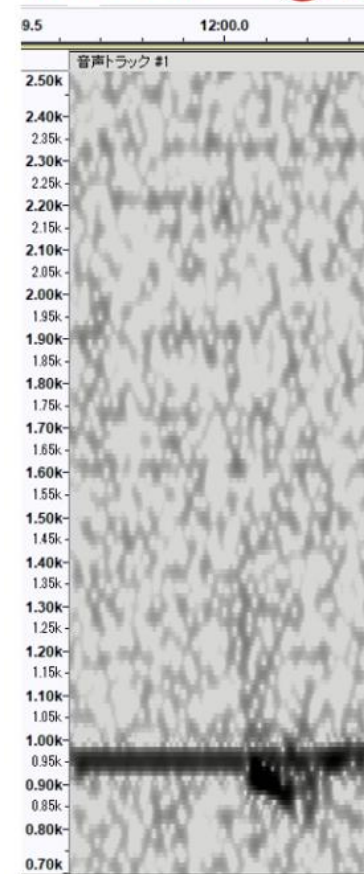


湖西サイト
速度：82 km/s
突入角度：30°
レンジ：134km

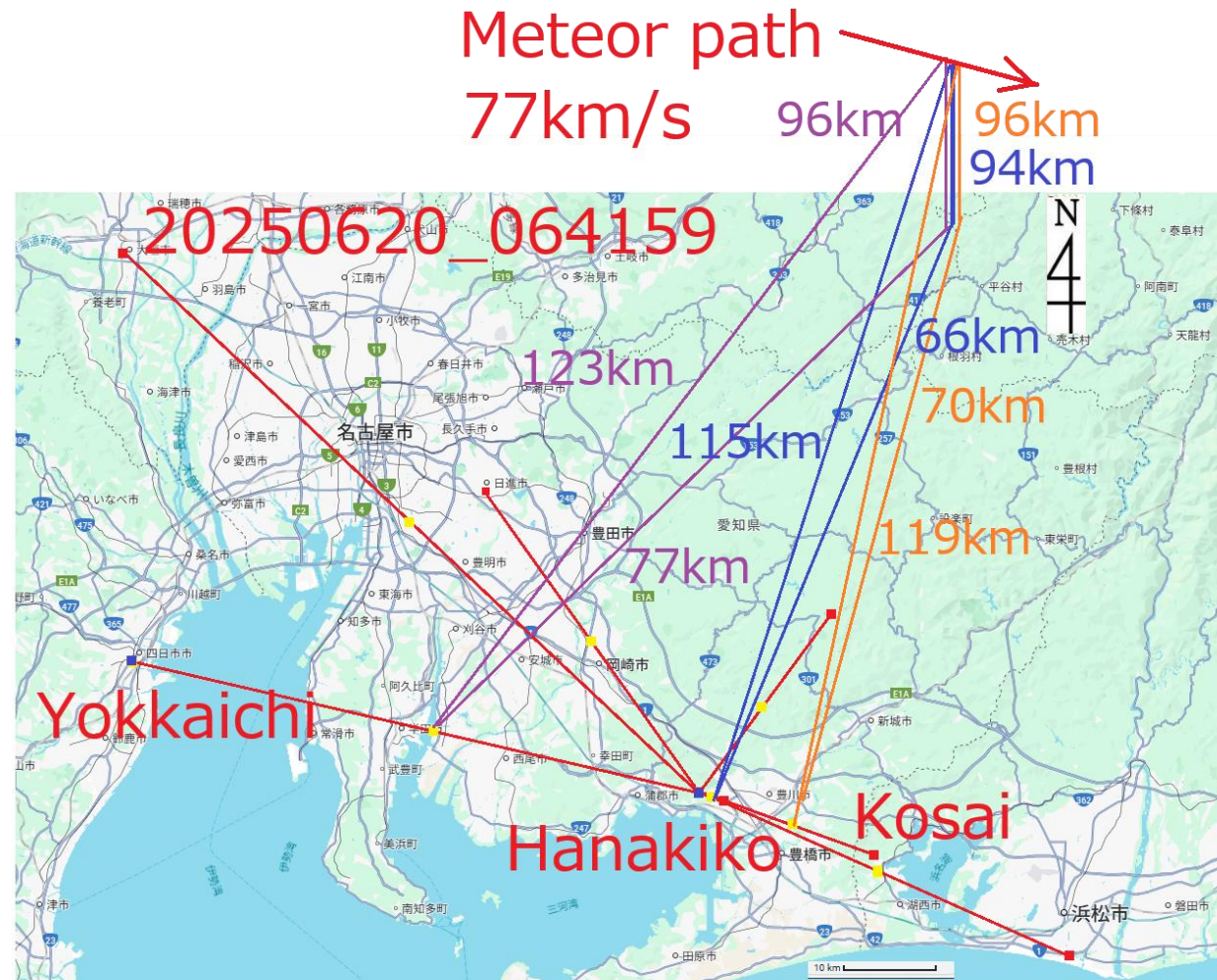
速度：77km/s
突入角度：35°
レンジ：119km
高度：96km
距離：70km

速度：72km/s
突入角度：40°
レンジ：104km

Kosai ©Okamoto



花木香・湖西・四日市サイトのドップラー 周波数から流星諸量の確定



最も可能性が高いのは
高度94～96km
対地速度77km/s
突入角35° 推定経路上記

経験的ドップラーエコーの読み方

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ー周波数が得られれば、流星の突入角は一般的に大きくない。流星は観測サイト群の上空近くに出現したと推定。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。ドップラー周波数の最大値を記録した観測サイトからf0点までのレンジが最も小さくなる。今回の流星は花木香サイト。

突入角が0°近辺だと観測サイトの直上に出現。今回は高度(=レンジ)170km程度。ただ、継続時間が長い飛跡エコーは90~100kmの高度で出現。この流星はどのサイトでも長い飛跡エコーが受信されており、高度90~100kmを通過している。

太陽系外起源流星は対地速度 72km/s以上！

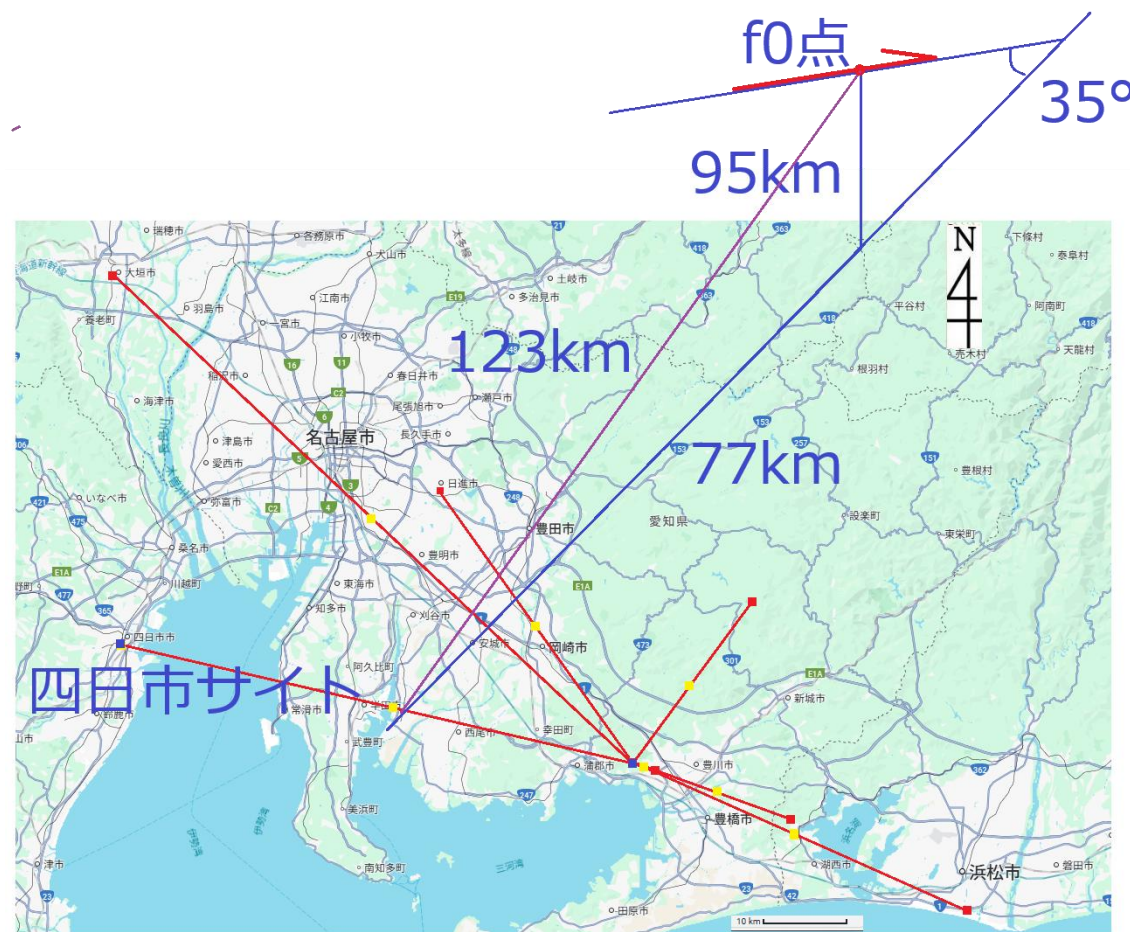
太陽系内流星の速度の下限は大気圏外からの自由落下の速度に相当し、これは11.2km/s である。上限は地球軌道において取りうる軌道速度の最大値(42km/s)と、地球の平均軌道速度(30km/s)との和の72km/s となる。ほとんどの流星は太陽系内起源と考えられていたが、1990 年から1991年ニュージーランドにおけるAMOR レーダー観測によると、軌道が決められたすべての流星のうち、0.9% が100km/s 以上の地心速度を持っていることが示された。（渡邊，長沢；日本惑星科学会誌，Vol.6, No.4, 1996）

参考文献

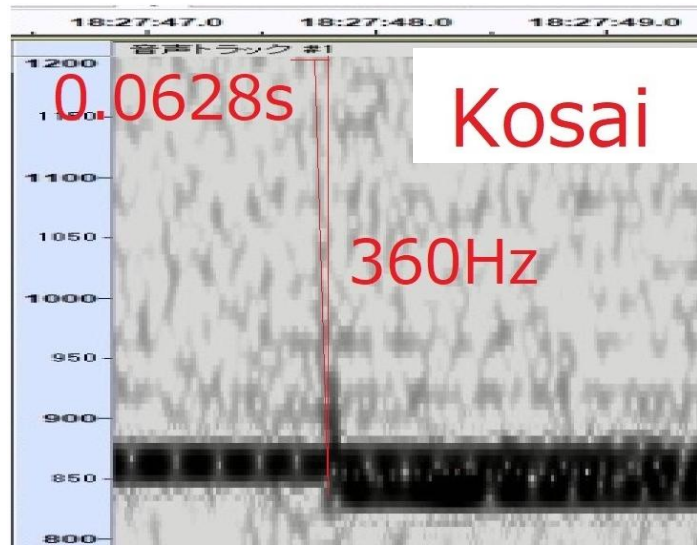
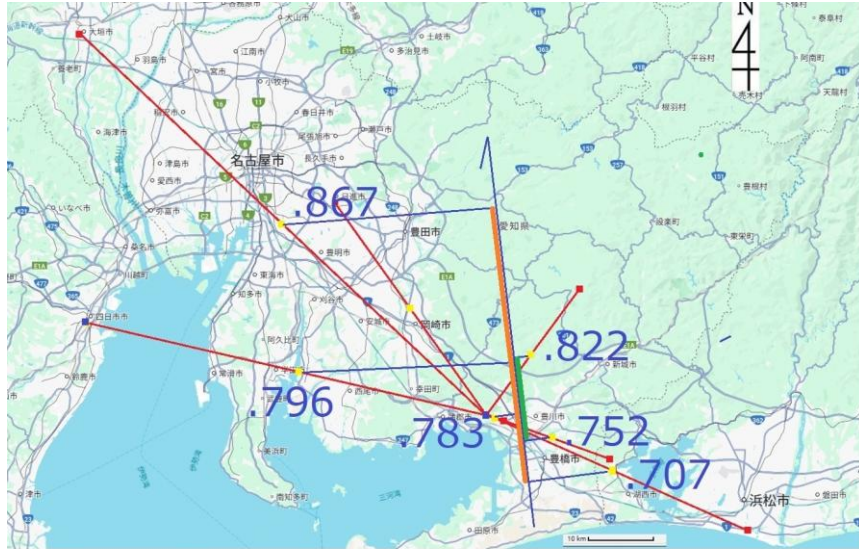
Taylor,A.D., Baggaley,W.G., and Steel,D. (1997) Discovery of Interstellar Dust Entering the Earth's Atmosphere. *Nature* 380, 323 –325.

今回の流星は太陽系外起源流星の可能性あり！

2025年6月20日06時41分
59秒(LT)出現の流星は
四日市サイトから北東約
80km上空，約95kmの高
度でf0点を迎えた対地速度
77km/s，突入角 35° の太
陽系外起源流星であった可
能性がある。



2024年12月30日08時17分48秒(LT)の 高突入角流星経路



レンジ : 240km, 速度 : 60km/s

高度 : 110km , 距離 : 200km

突入角 : 70度弱

$$11.8\text{km}/0.070\text{s}=169\text{km/s}$$

Hanakikou

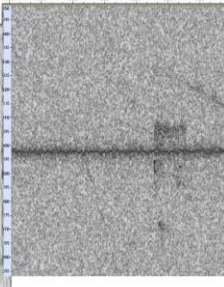
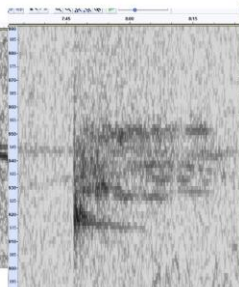
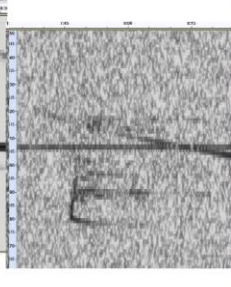
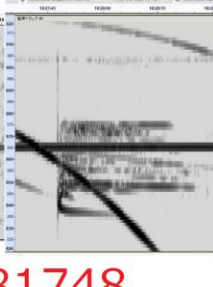
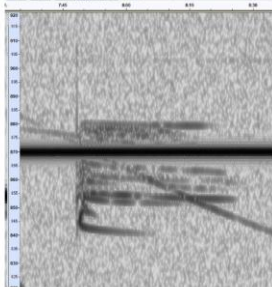
I sukude

Kosai

Hamamatsu

Yokkaichi

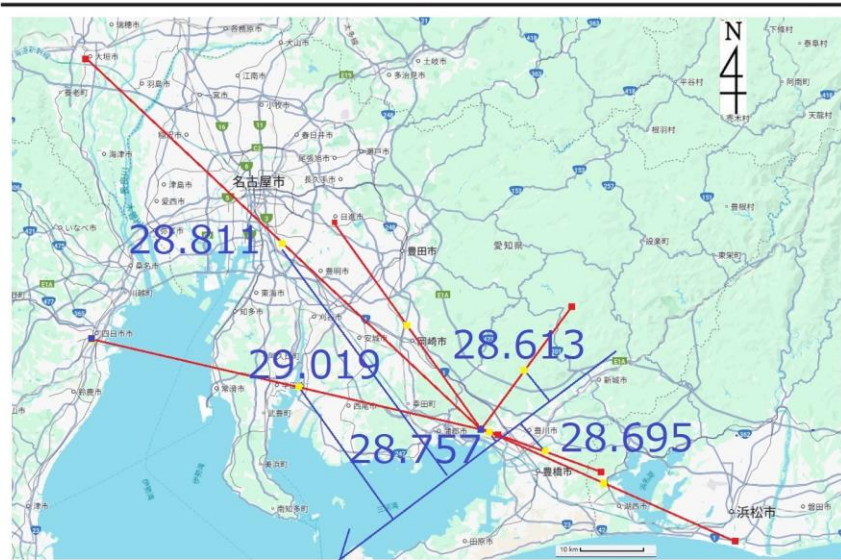
Nisshin



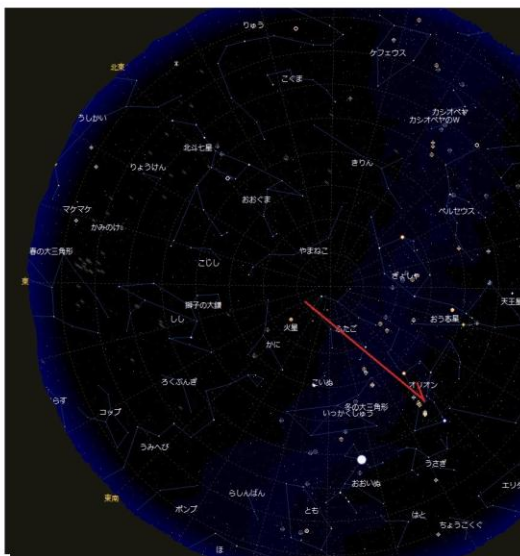
202401230_081748



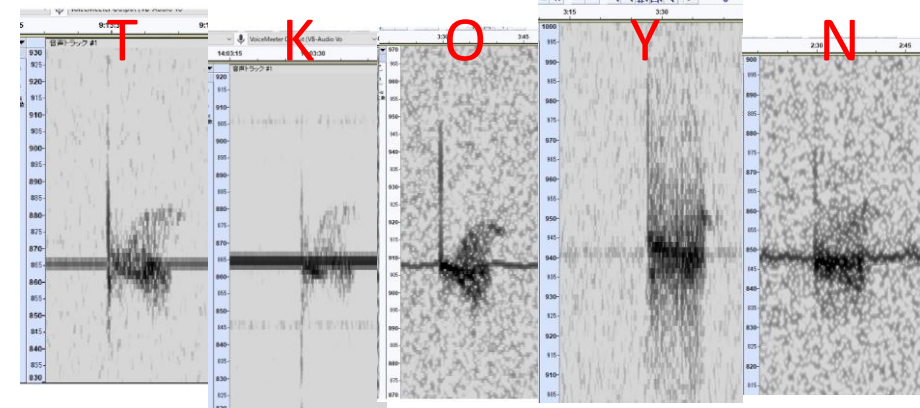
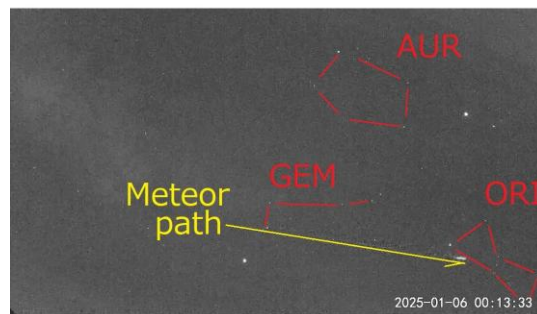
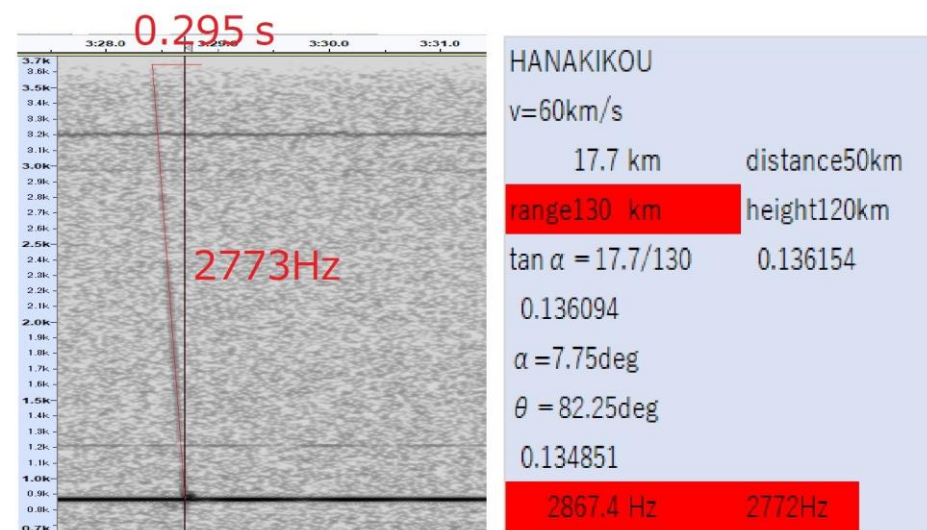
2025年1月6日00時13分28秒(LT)の 突入角30°流星経路



作手-花木香 $10.7\text{km}/(28.757-28.613)=74.3\text{km/s}$
 作手-四日市 $30.9\text{km}/(29.019-28.613)=76.1\text{km/s}$
 $74.3\text{km/s} \cdot \cos 30\text{deg.} = 74.3 \cdot 0.866 = 64.3\text{km/s}$



Hanakikou site ©Kato



最後に！

私たちと共に昼間の隕石落下や太陽系外流星を見届けましょう！

<http://www.headecho.sakura.ne.jp/MHEDJ.htm>