KRO レビュー：流星頭部からのエコー観測でわかったこと

鈴木和博（豊川市）
加藤泰男（豊川市）
岡本貞夫（日進市）

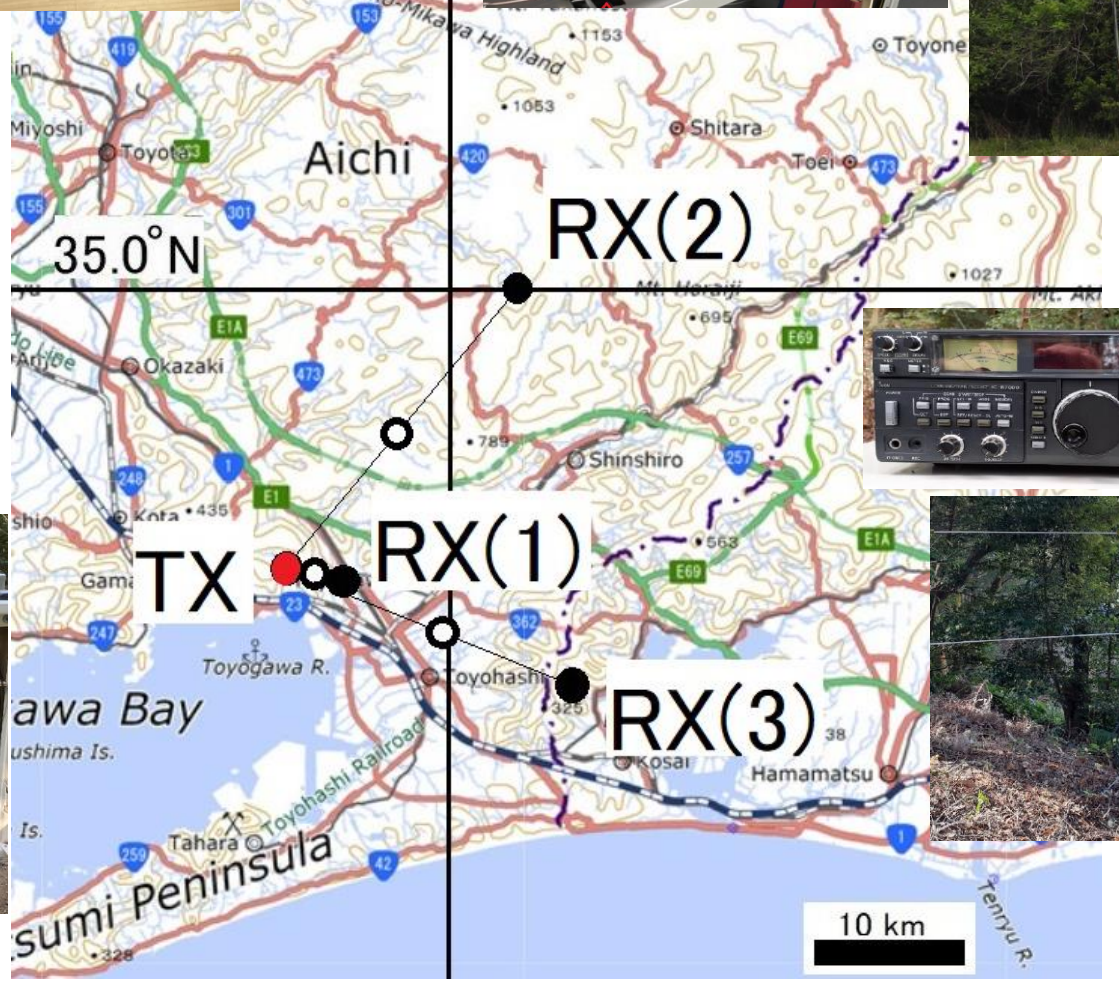
私どもの流星電波観測，ＫＲＯとは？

RX(1)

RX(2)

加藤さんの電波（K）を使った流星の電波（R）観測（O）。前方散乱利用のHROと区別

送信アンテナ



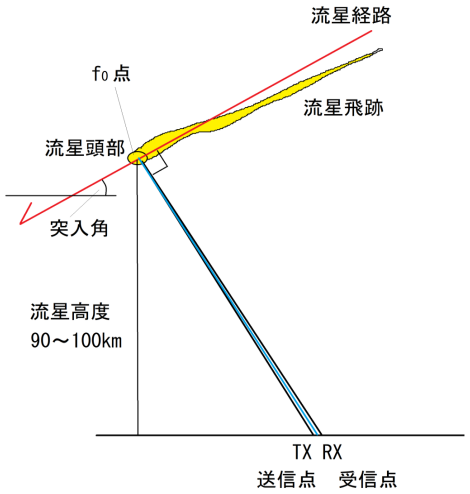
送信機

RX(3)

送信波は53.1MHz，10W，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3ヶ所。御津町，新城市，湖西市（送受信距離：20km以内）

流星エコー受信機器(作手サイト)

新城市では２エレハ木アンテナ，受信はSDR，アプリはHDSDR。仮想サウンドカードでHROFFTとAudacityに記録。



SDR

Nooelec NESDR SMArt v4 SDR - アルミニウム製エンクロージャ、0.5PPM TCXO、SMA入力付きプレミアムRTL-SDR RTL2832UおよびR820T2ベースのソフトウェア無線

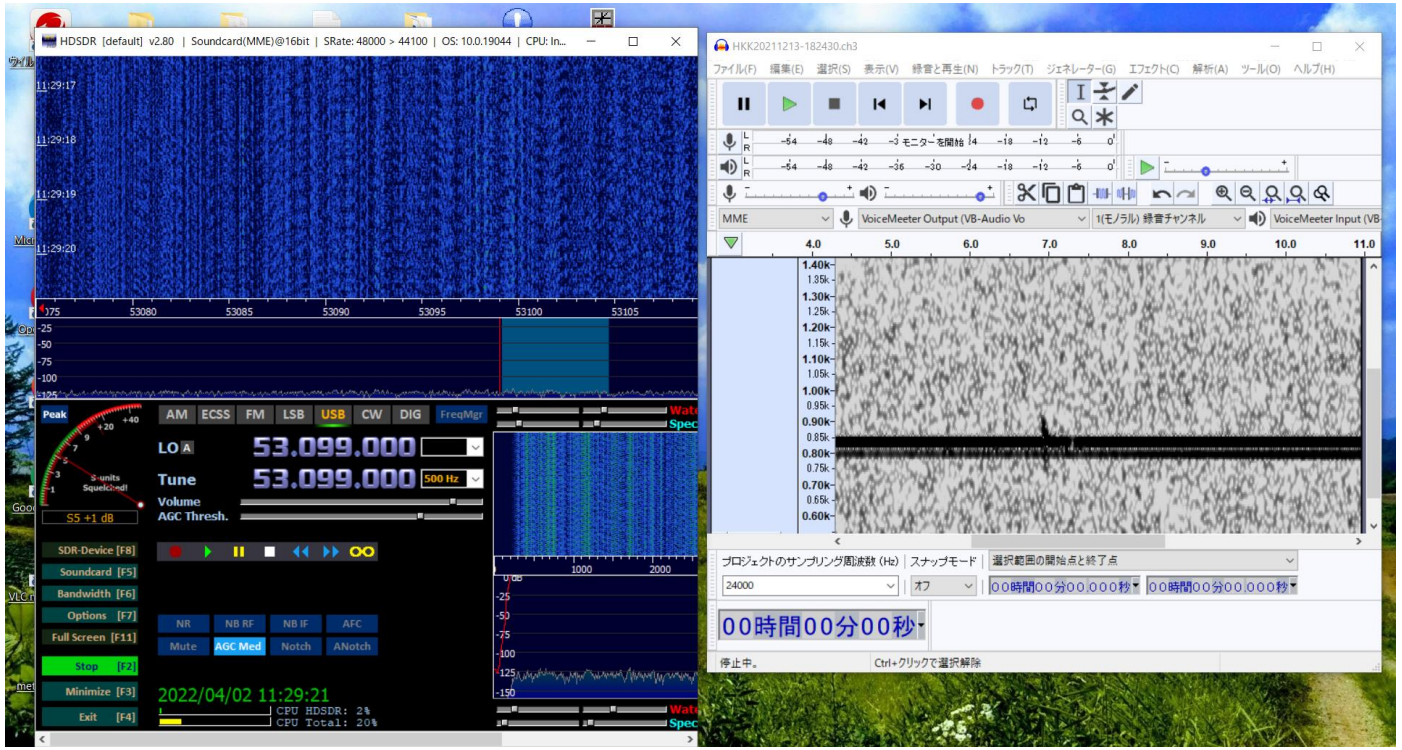
ブランド: NooElec

★★★★☆ 1,123個の評価

¥4,995

prime お届け日時指定便 無料

ポイント: 40pt (1%) 詳細はこちら



HDSDR

Audacity

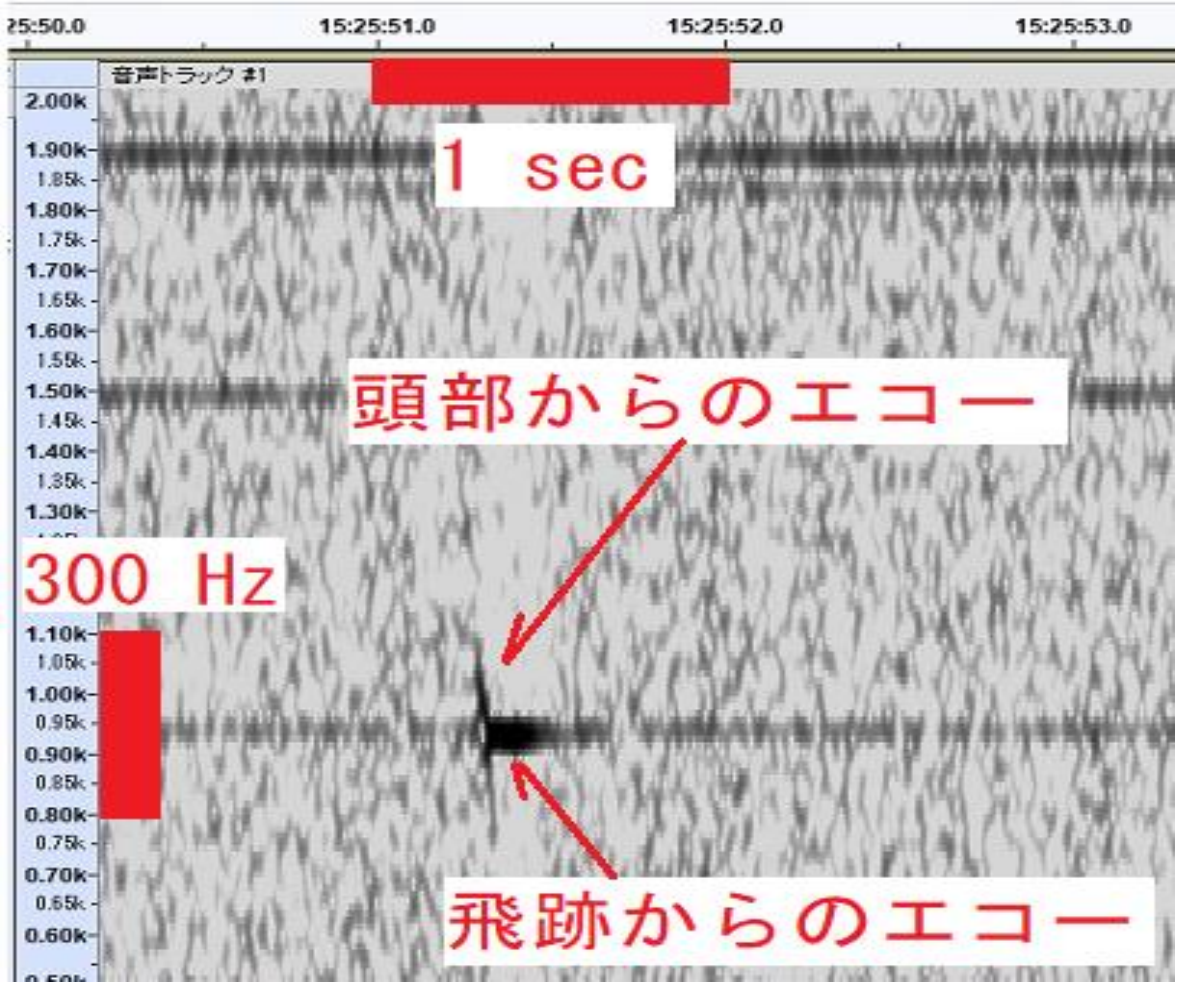
USB型式の受信

受信電波型式はUSB方式．送信された53.100000 MHz(10W)の電波を，受信機の周波数を53.099000 MHzに同調し，電波型式USBで受信すると，送信信号（直接波）は1000 Hzの音として聞こえる．流星本体の観測速度に応じた流星頭部からのエコーにドップラー周波数が含まれていれば，流星が受信点に接近しているときには1000Hzの周波数よりも高い音が，遠ざかっているときには1000Hzの周波数より低い音が受信機から聞こえる．（流星電波観測ガイドブック参照）

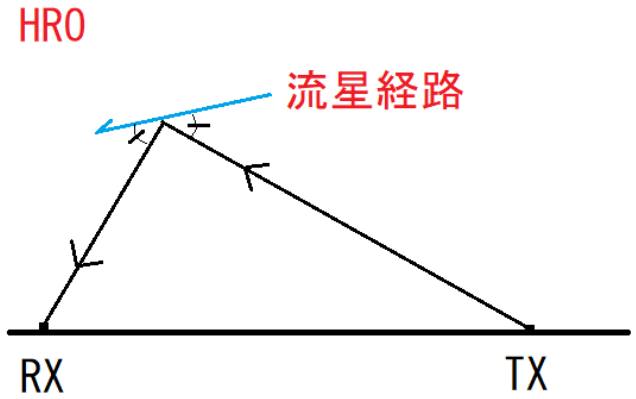
観測機材の調達（作手サイトの場合）

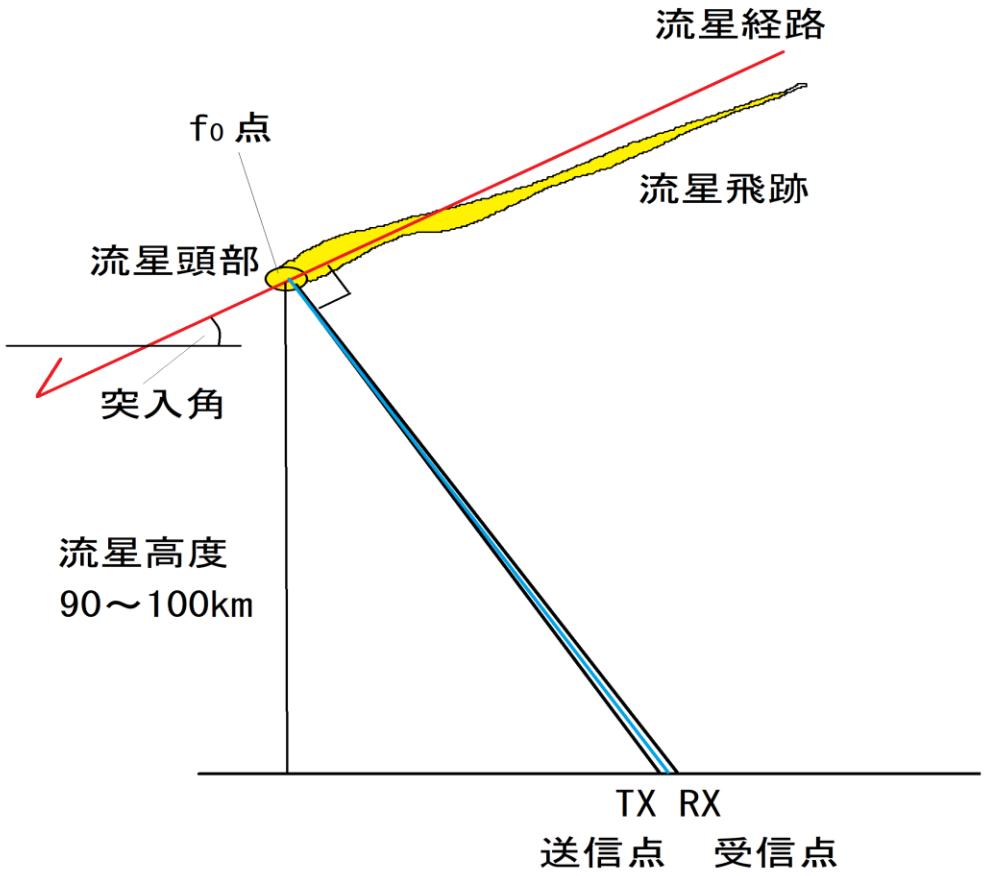
- 受信アンテナ（2エレハ木）14000円（新品）
- ソフトウェア無線受信機（SDR）　4000円（新品）
- データ保存PC（Win10,office2019）10000円（中古）
- ハードディスク(4TB)　7000円（新品）
- 周波数解析データレコーダ（音楽編集ソフト）
  audacity（無料ダウンロード）
- SDRアプリHDSDR(無料ダウンロード)
- HROFFT(電波流星観測ガイドブック付録)
- 仮想サウンドカード（Voice Meeter)(無料ダウンロード）　その他，ケーブル代など総額5万円以内

流星の頭部からのエコーと飛跡エコー



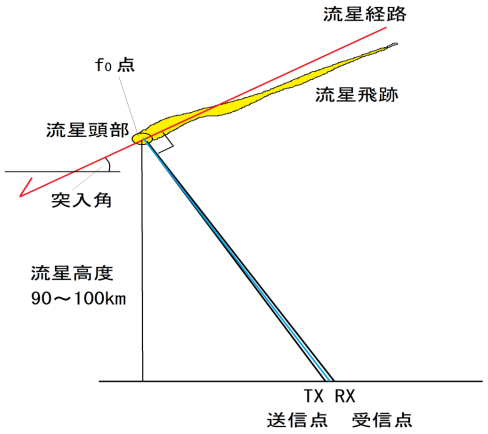
06h25m50s, Aug. 1, 2022

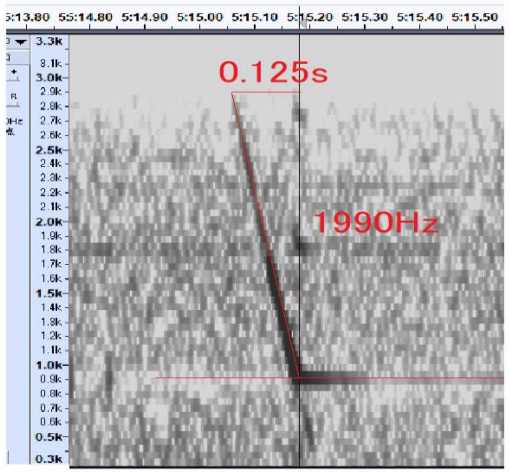




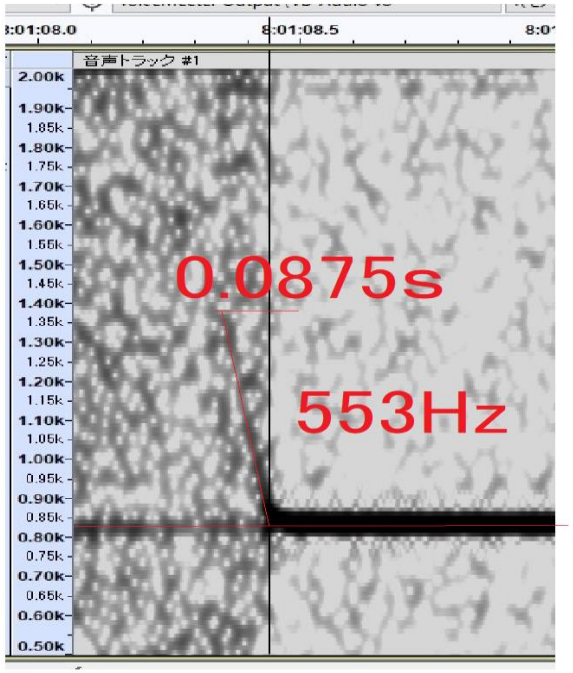
流星頭部からのエコーから導かれるドップラー周波数

流星頭部がf0点に到達する〇〇秒前のドップラー周波数

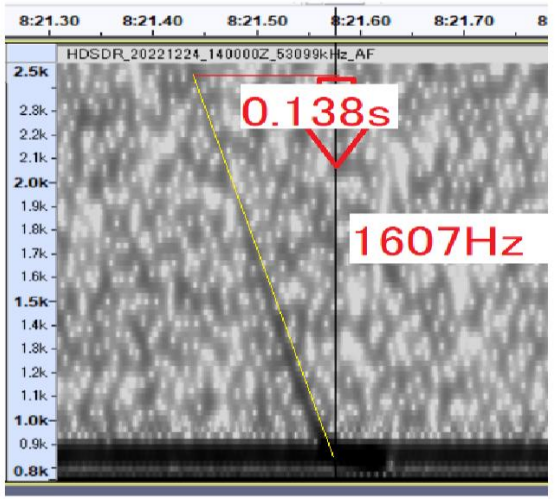




20230102_011516
Hanakikounomori



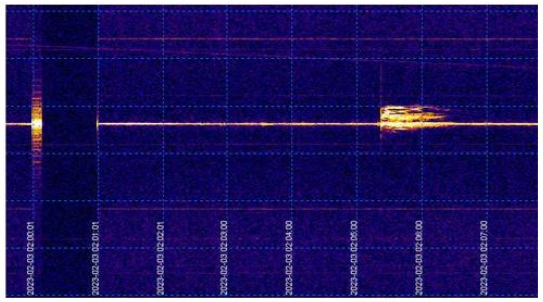
20230104_010107
Tsukude



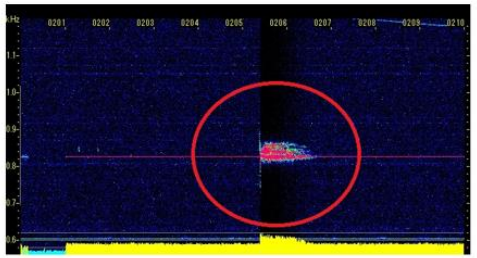
20221224_230820
Kosai

記録されるのはHROFFT画面の精細版

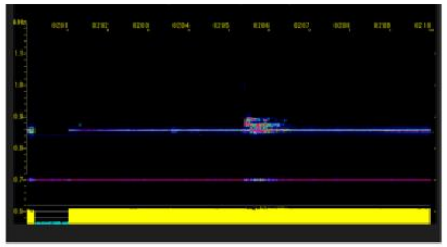
Audacityに記録された流星エコーデータは時間軸も周波数軸もスケールを自由に変更できる

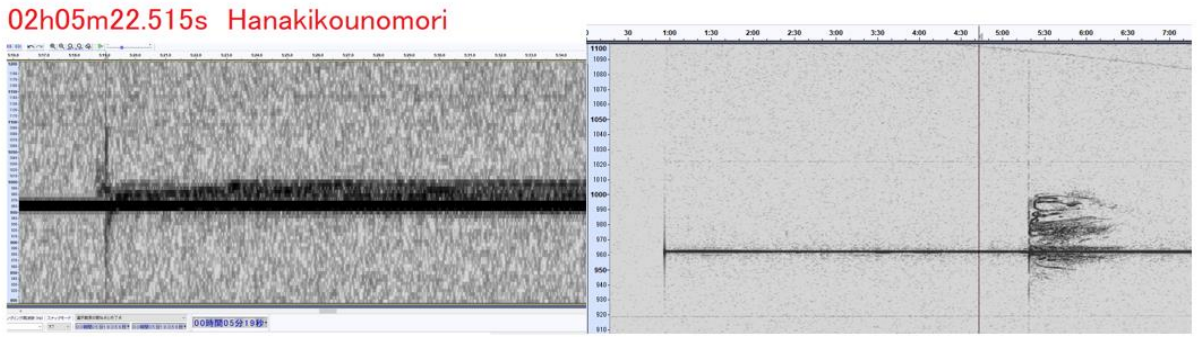


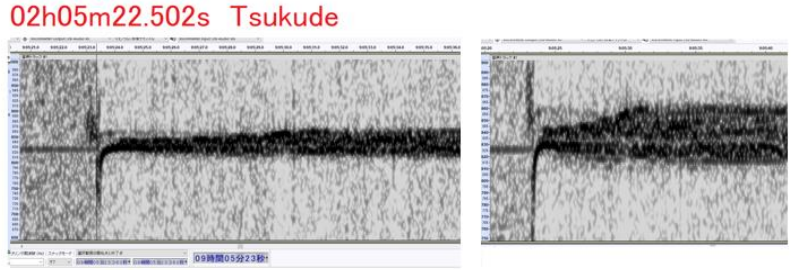
2023/02/03
左：HROFFT画面



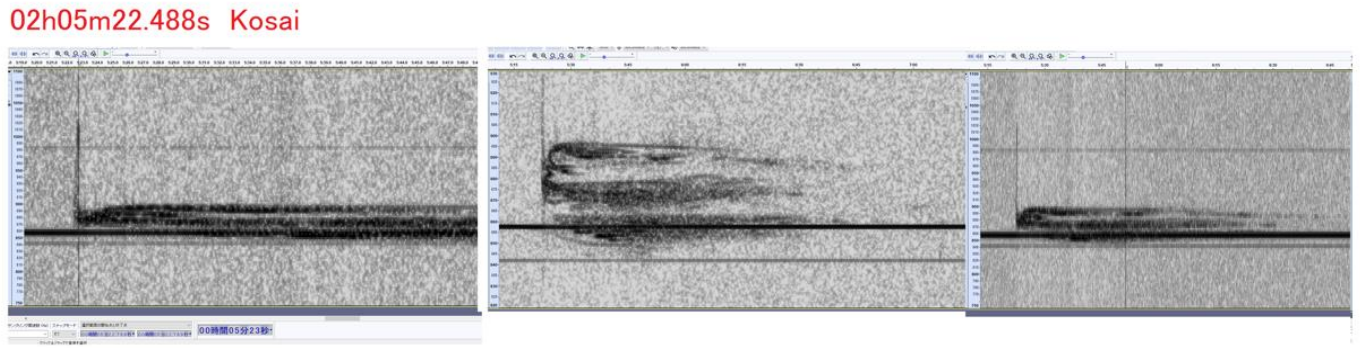
上：花木香の森
中：作手
下：湖西







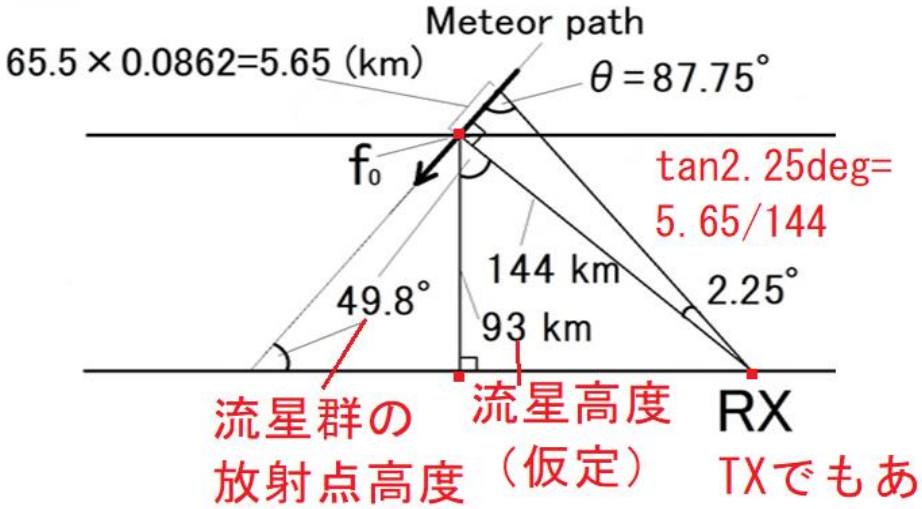
Audacityで書かれたFFT画像
飛跡エコーが見事

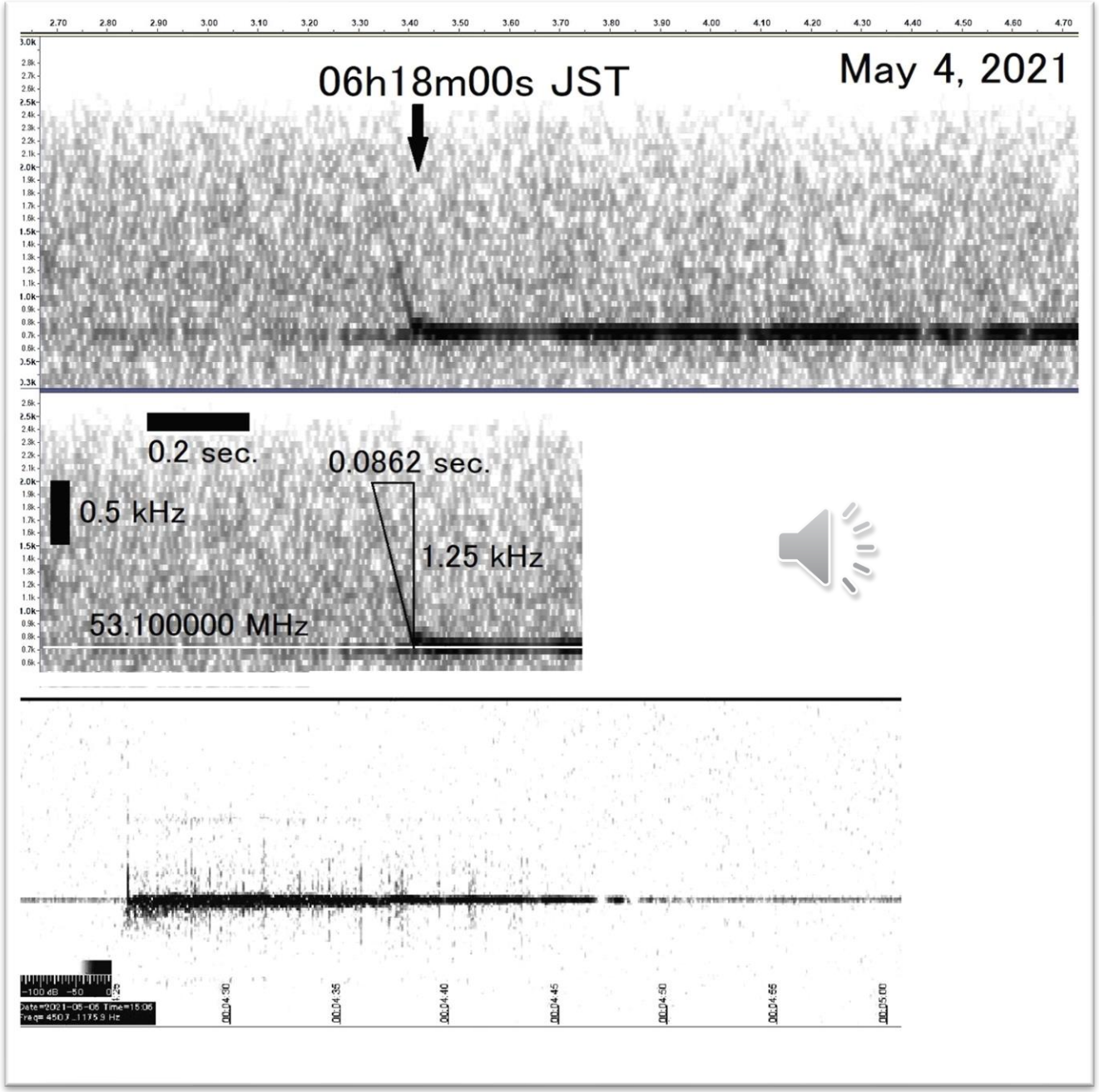


観測例）2021年5月4日06h18m00s(LT)のエコーをみずがめ座η流星群流星からと仮定，更に，

流星群放射点と観測点の天頂を含む面（大円）に流星が出現したと仮定
（観測点：作手サイト）

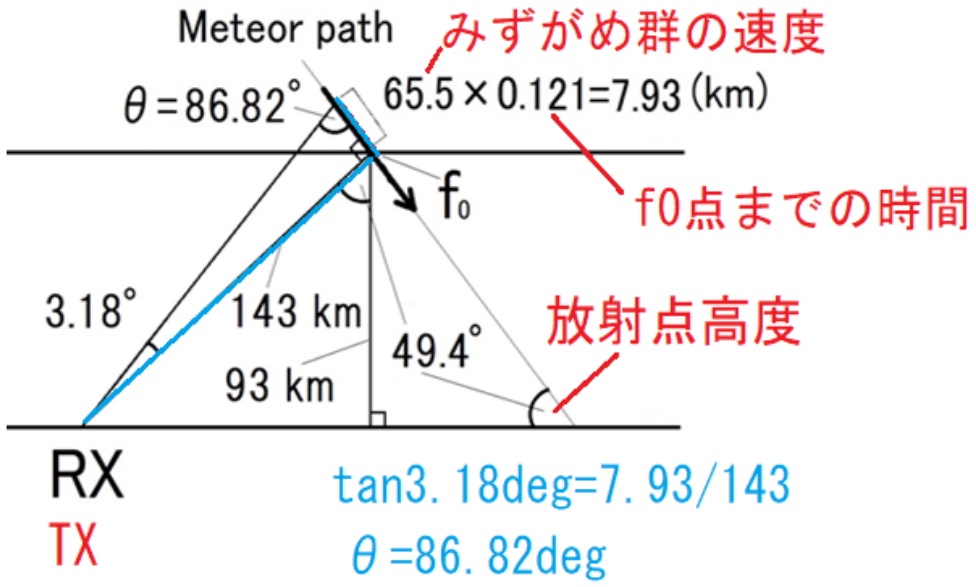
頭部からの流星エコーの受信機構

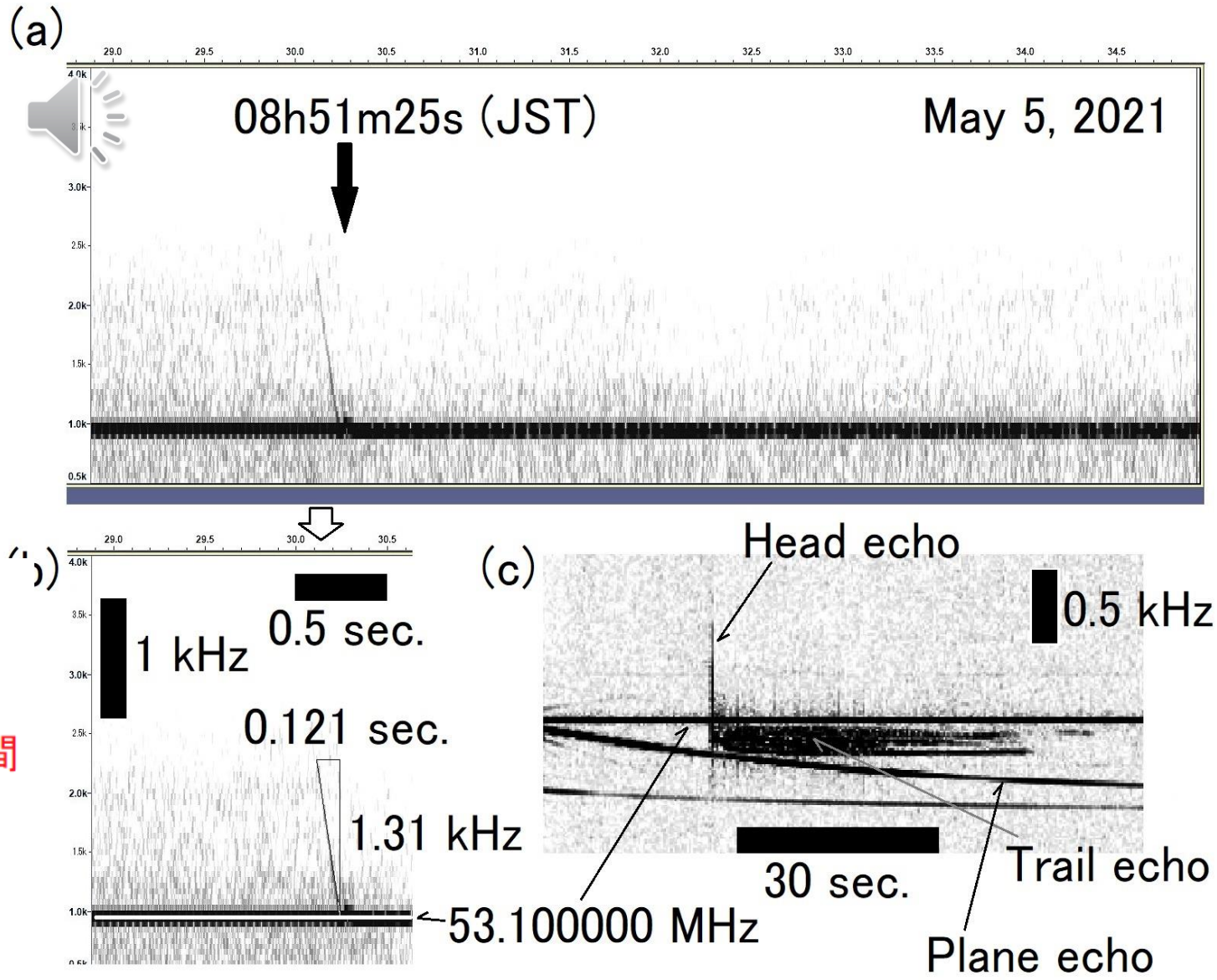




観測例）2021年5月5日08h51m25s（LT)のエコーをみずがめ座η流星群流星と仮定，更に

水がめ群が天頂と放射点を含む面に出現したと仮定（観測点：花木香の森サイト）





ドップラー周波数と流星の視線方向の速度との関係式

was calculated that the meteor moves 7.93 km in 0.121 s to the f_0 point. The altitude of the radiant of the Eta Aquarids meteor was 49.°4 at the received time (08:51:25 LT), and assuming that the height of the f_0 point is 93 km, θ in Eq. (1) was calculated to be 86.°82 (Fig. 6 (b)). If these numbers are substituted into Eq. (1),

みずがめ群の速度 65.5km/s

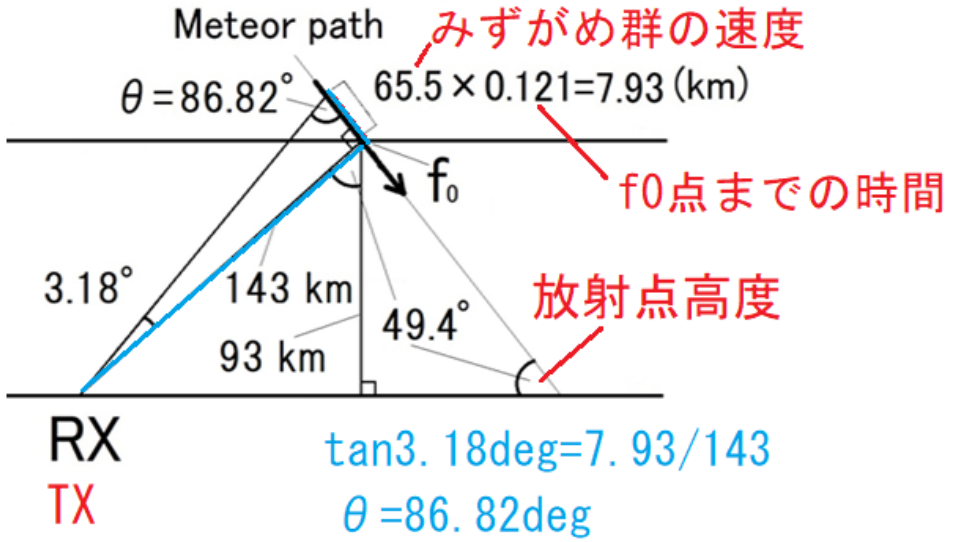
$$f_d = 2v\cos\theta f_t/c$$
$$= 2 \times 6.55 \times 10^4 \times \cos 86.°82 \times 5.31 \times 10^7 / (3.00 \times 10^8)$$
$$= 1.29 \times 10^3\,(\mathrm{Hz}). \quad (3)$$

光速

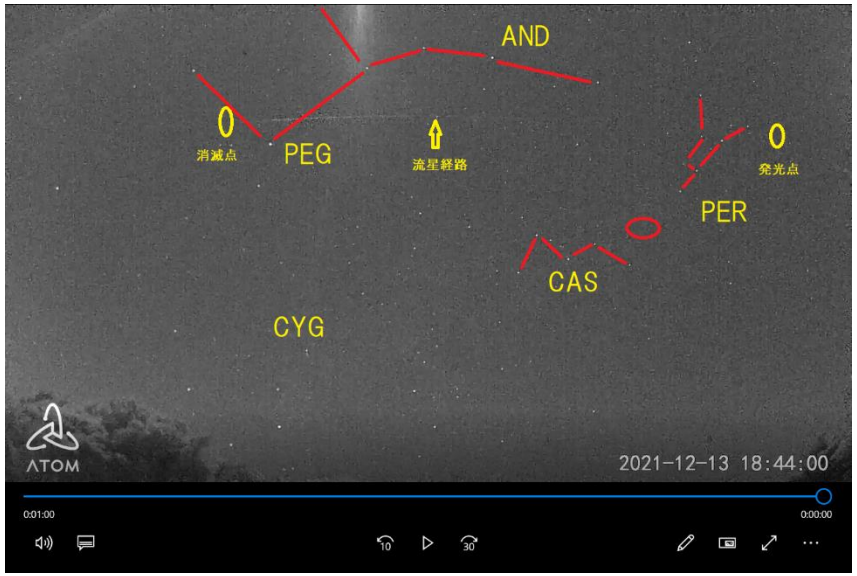
送信周波数53.100MHz

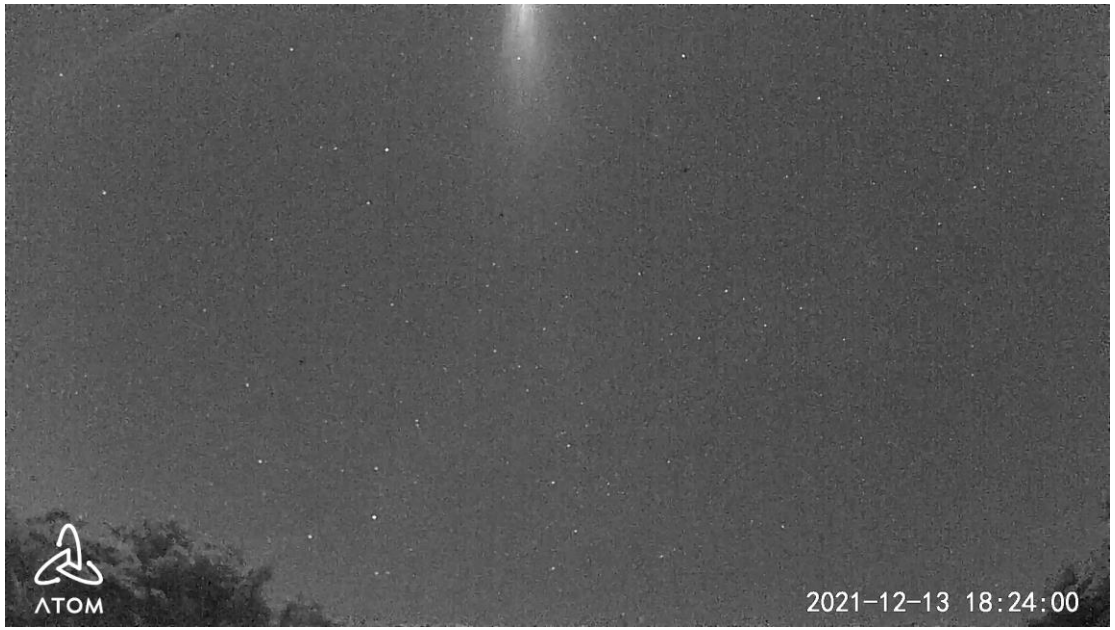
This Doppler frequency (1.29×10^3 Hz; Eq. (3)) agrees well with the experimental result (1.31×10^3 Hz) obtained from the frequency analysis with 98% accuracy. The result strongly

fd：ドップラー周波数（Hz）
v：流星速度（m/s）
θ：流星経路と視線方向との角度
ft：送信周波数（Hz）
c：光速(m/s)



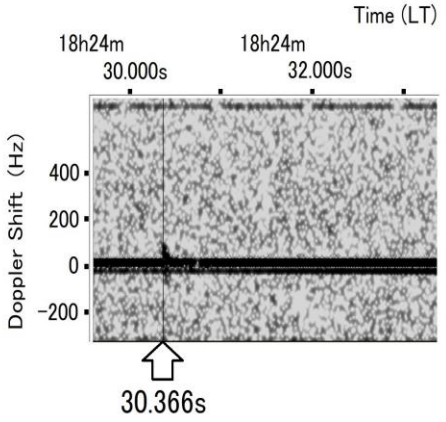
実際の流星で検証
観測例）2021年ふたご座流星群
3点同時KRO。

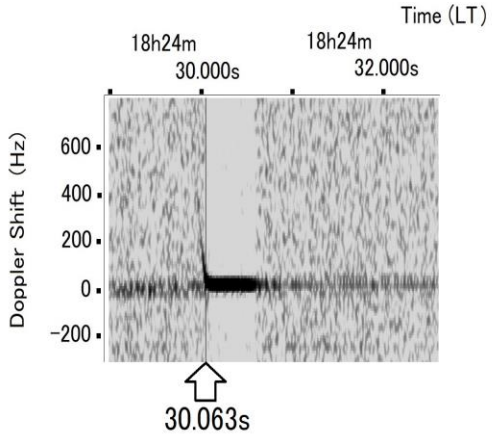


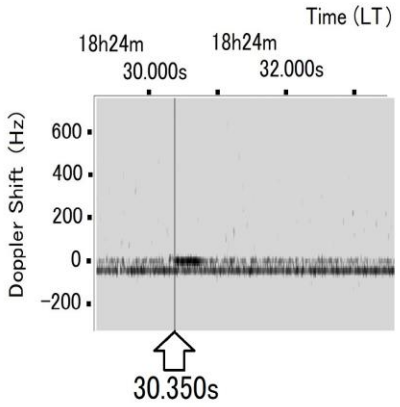


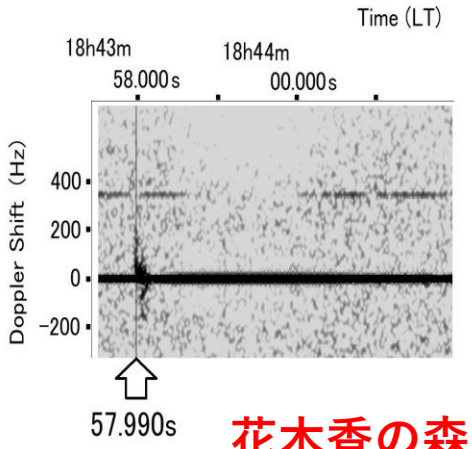
（上）2021年12月13日_18h24m30sの流星
（右）2021年12月13日_18h43m58sの流星
共に加藤氏のアトムカメラによる

２流星の光学経路と頭部からのエコー

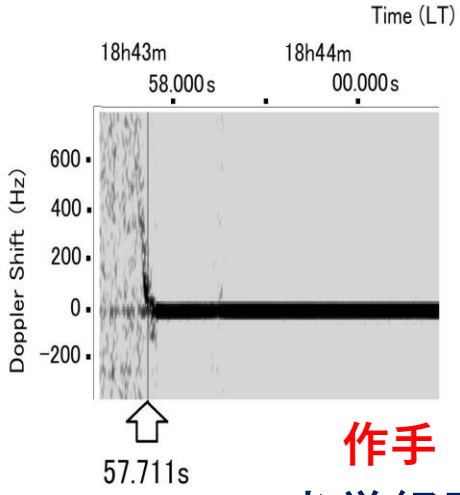




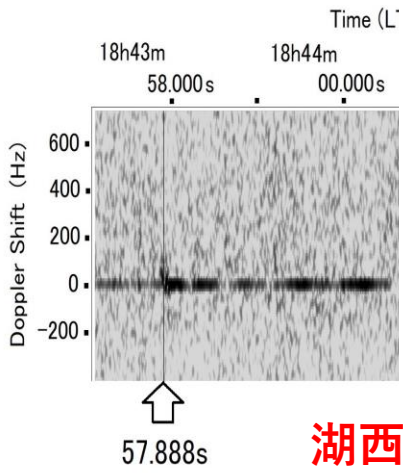




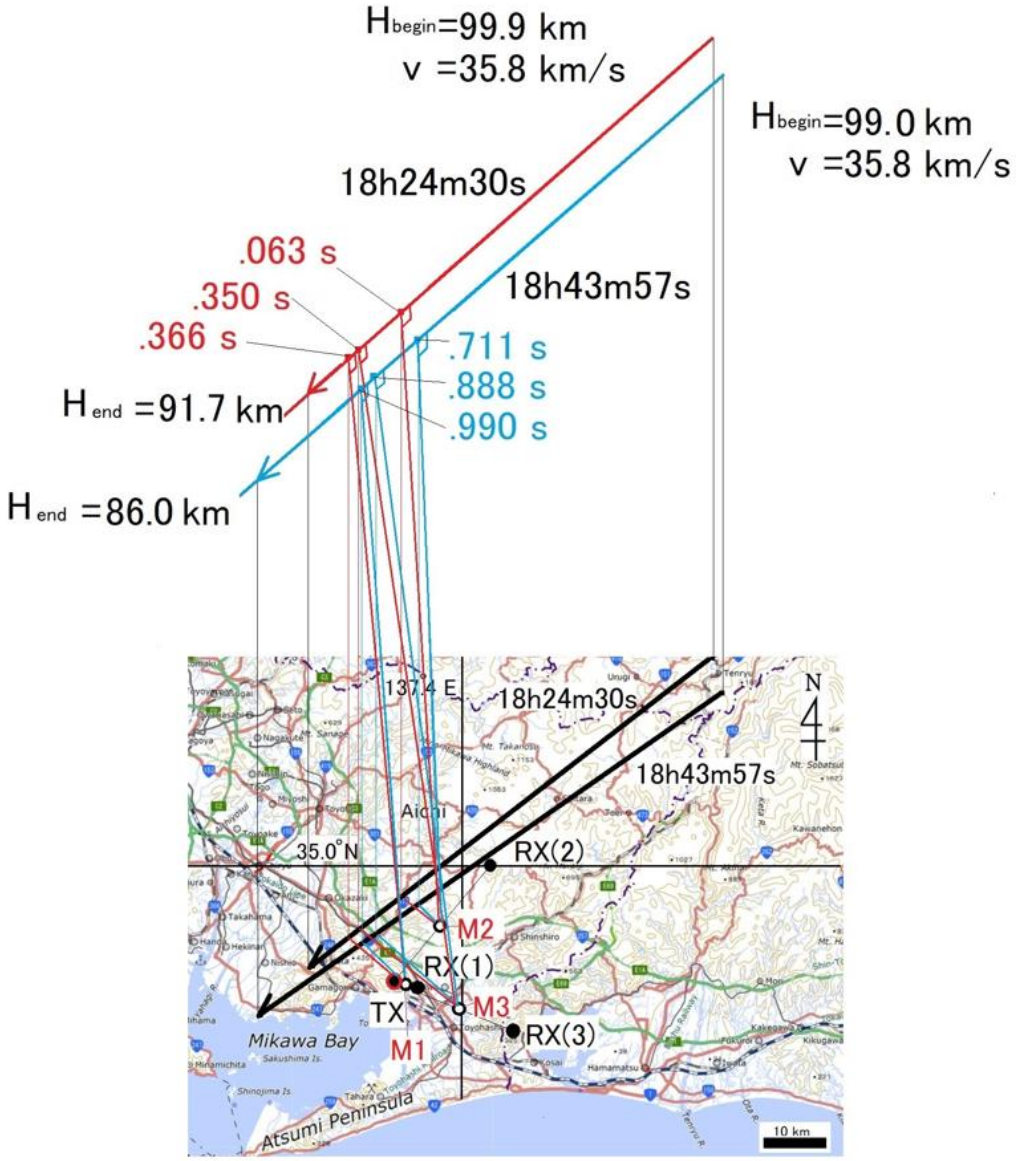
花木香の森



作手



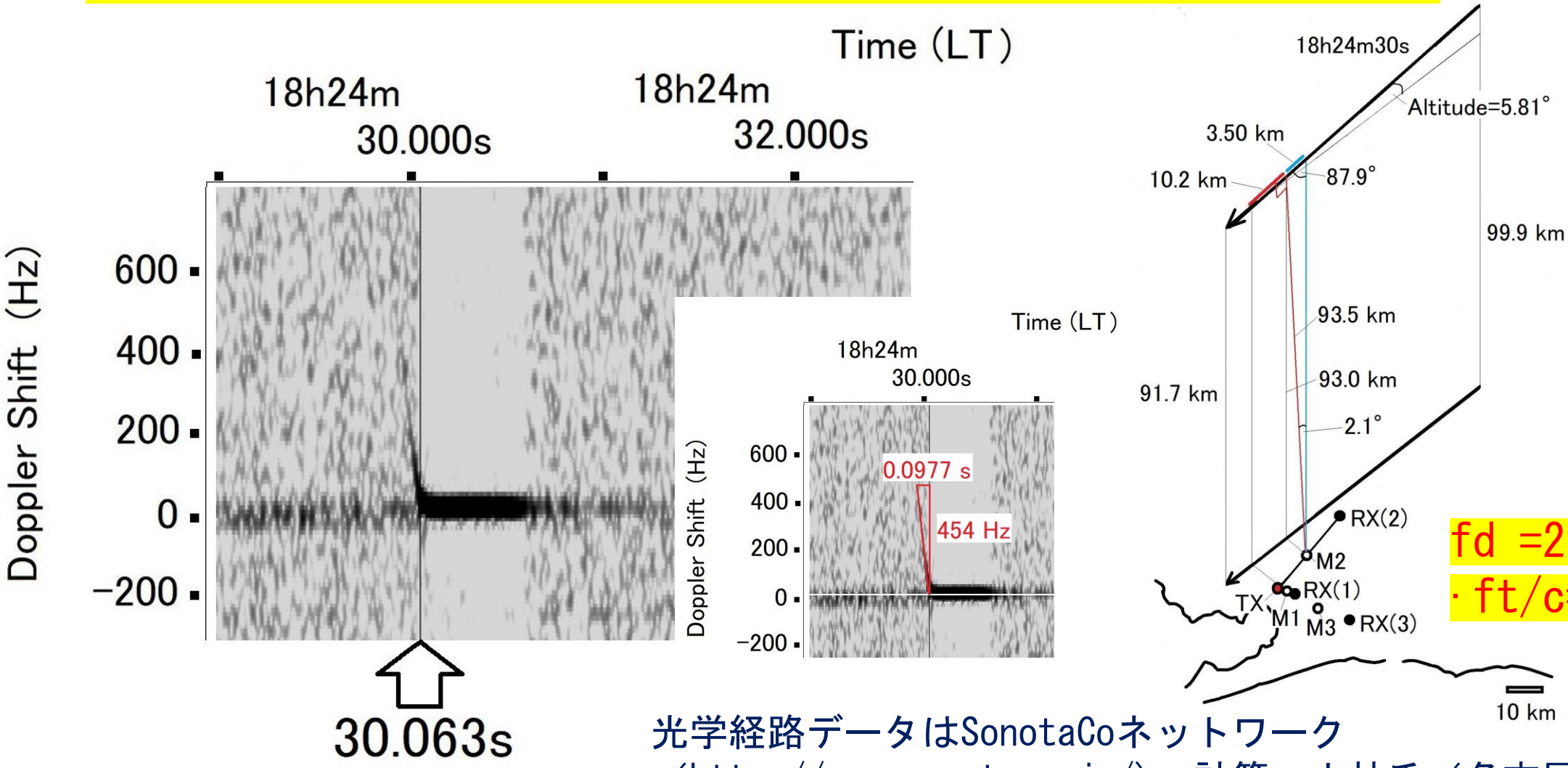
湖西



光学経路データはSonotaCoネットワーク(http://www.sonotaco.jp/)

計算：小林氏（名古屋市）

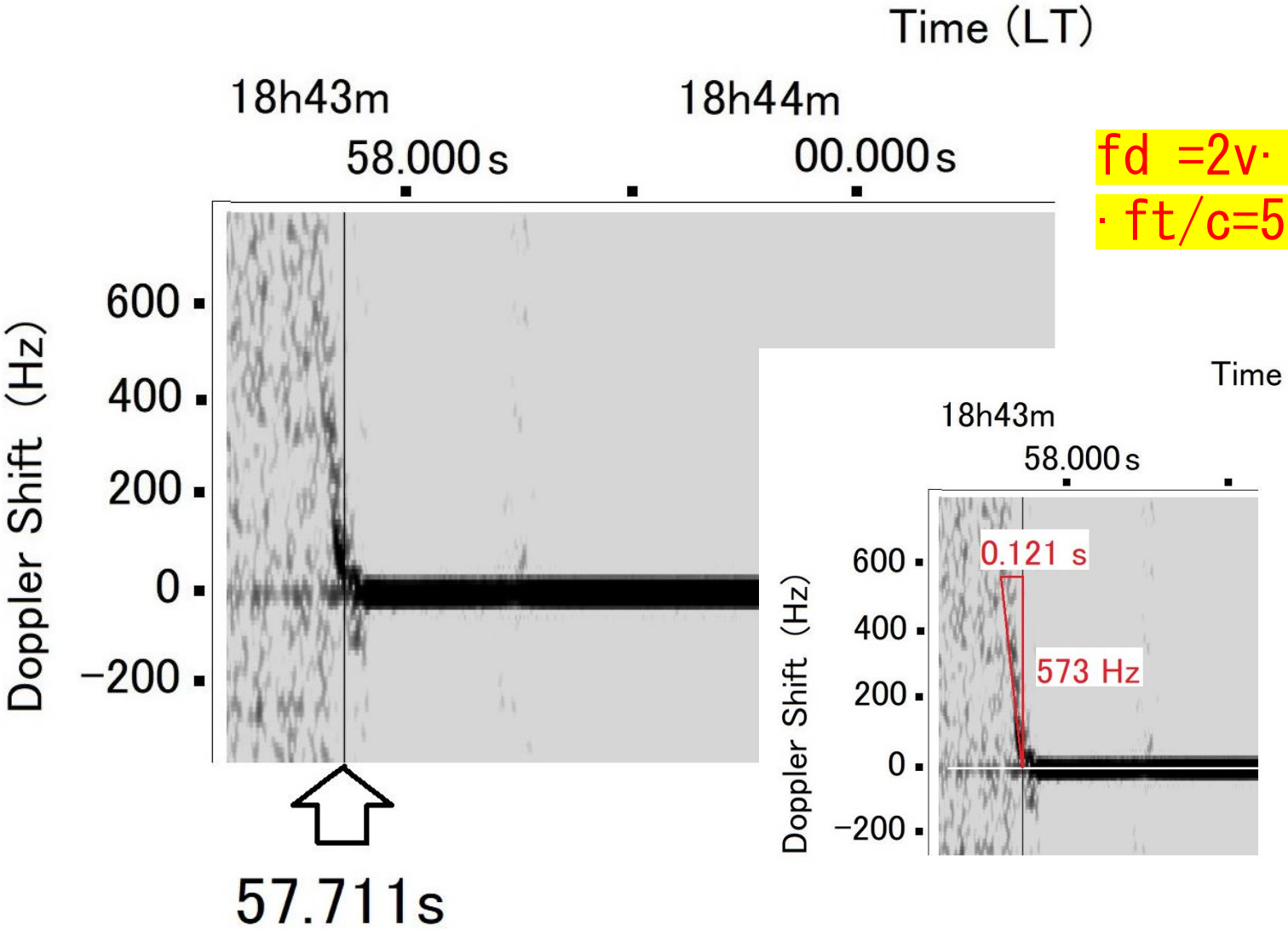
ふたご座流星群流星の頭部からのエコーのドップラー周波数　20211213_182430



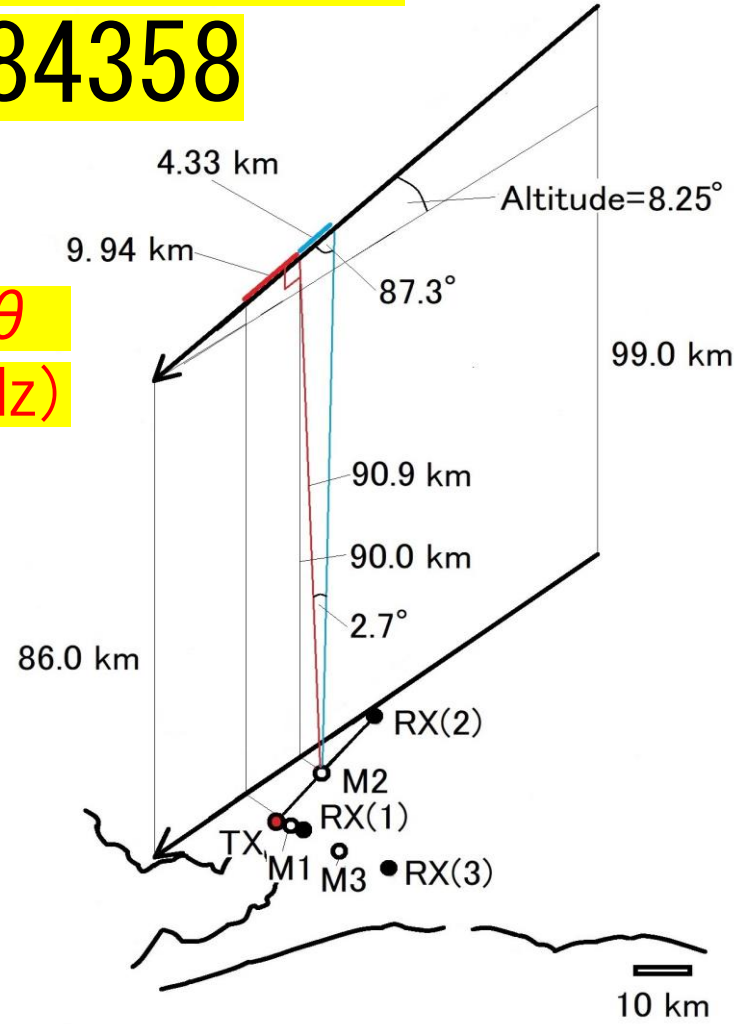
$fd = 2v \cdot \cos\theta \cdot ft/c = 464\,(Hz)$

光学経路データはSonotaCoネットワーク
（http://www.sonotaco.jp/）　計算：小林氏（名古屋市）

ふたご座流星群流星の頭部からのエコーのドップラー周波数　20211213_184358

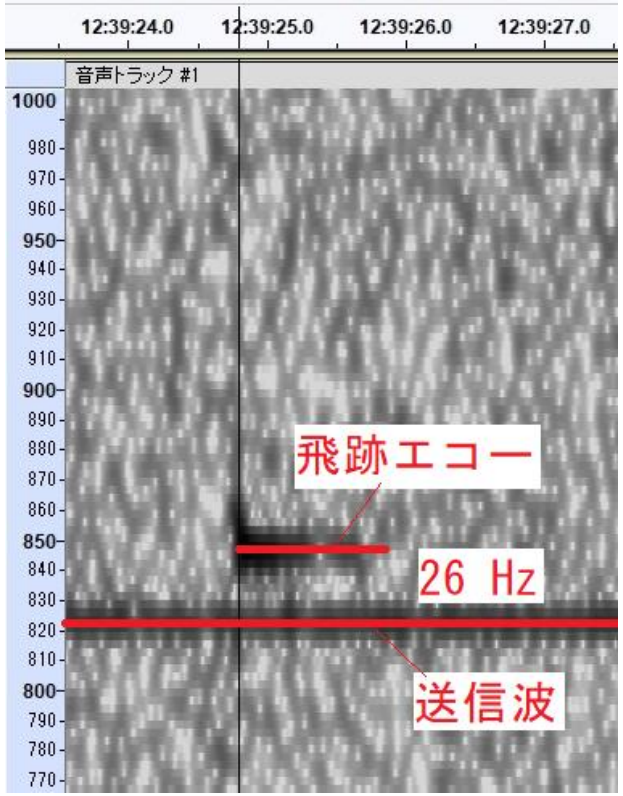


$fd = 2v \cdot \cos\theta \cdot ft/c = 597\,(Hz)$

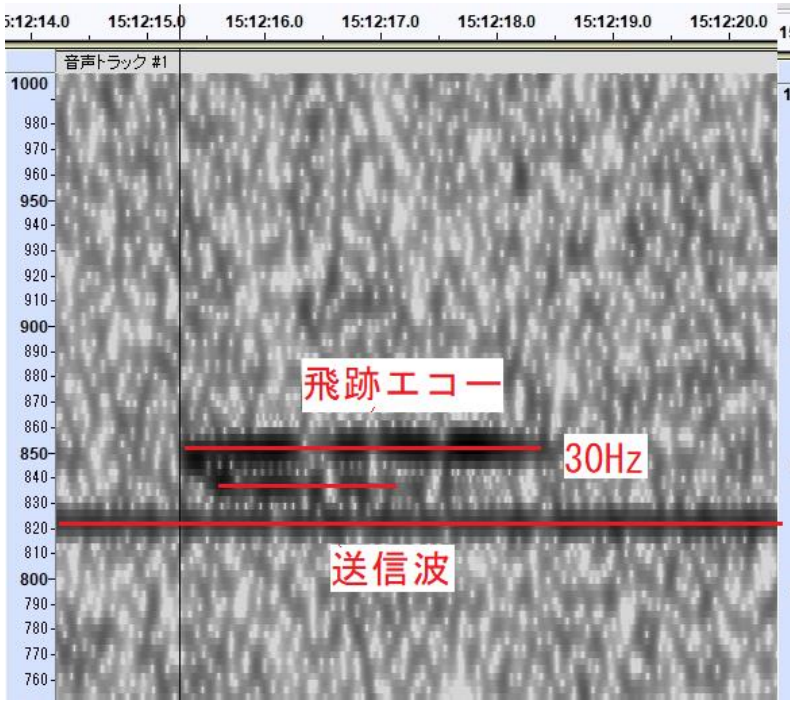


光学経路データはSonotaCoネットワーク(http://www.sonotaco.jp/)
計算：小林氏（名古屋市）

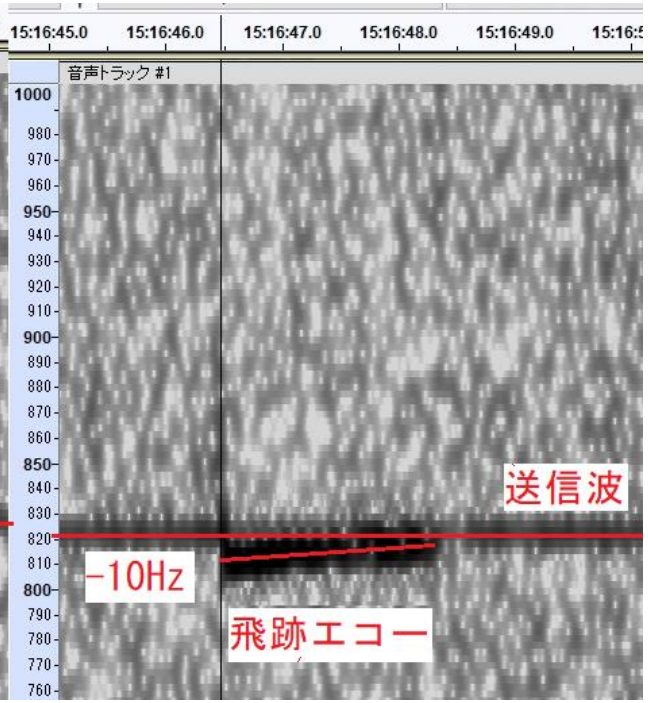
上層風のドップラー周波数
2023/02/07



03h09m23s, Feb. 6, 2023
Tsukude site



05h42m14s, Feb. 6, 2023, Tsukude

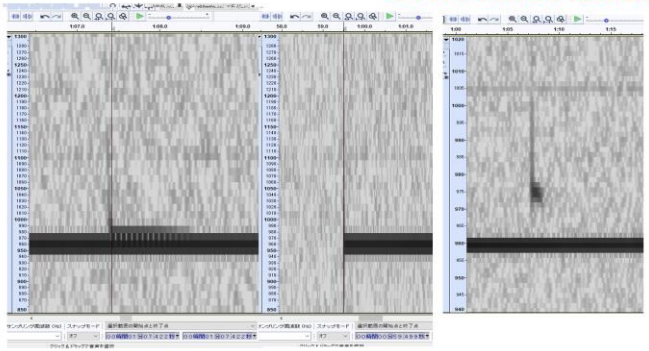


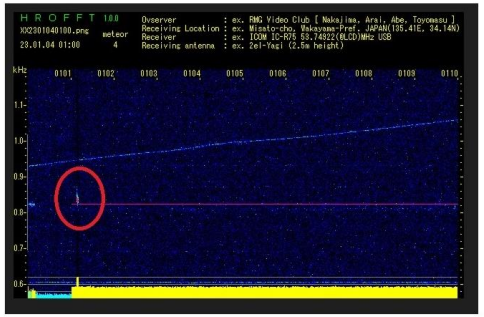
05h46m45s, Feb. 6, 2023, Tsukude

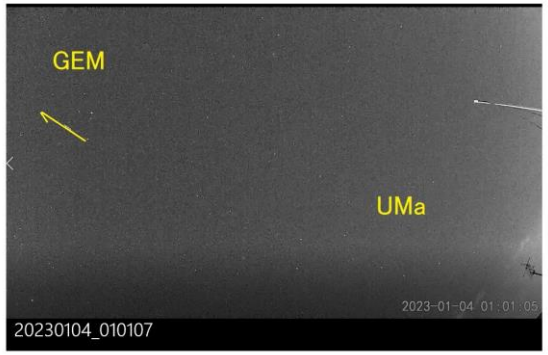
流星の発光高度90～100kmでは～50m/s程度の上層風が常に吹いている。この風は時刻によって強度・風向を変えている。50m/s程度で移動する物体のドップラー周波数は～30Hz程度でありこの結果と符合している

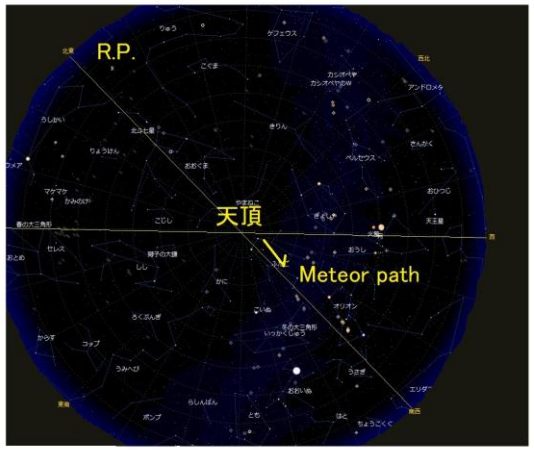
20230104_010107

Hanakikounomori　01h01m07.923s

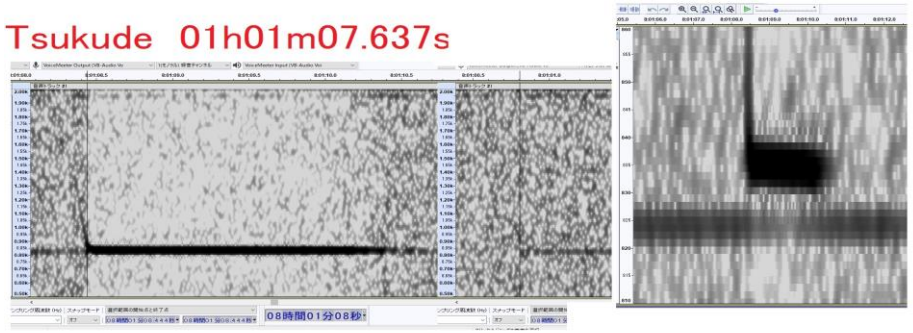




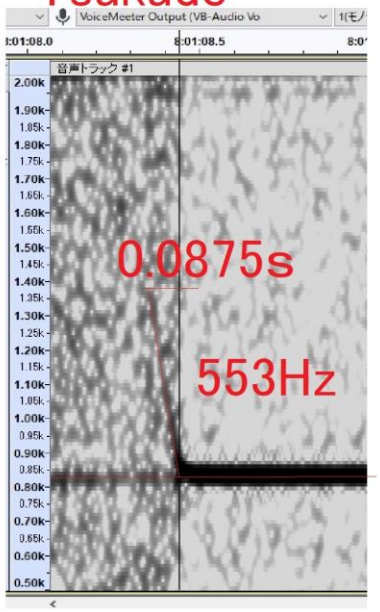




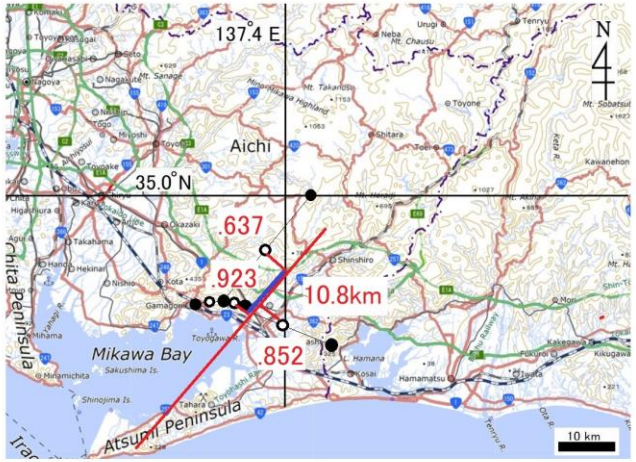
Tsukude　01h01m07.637s



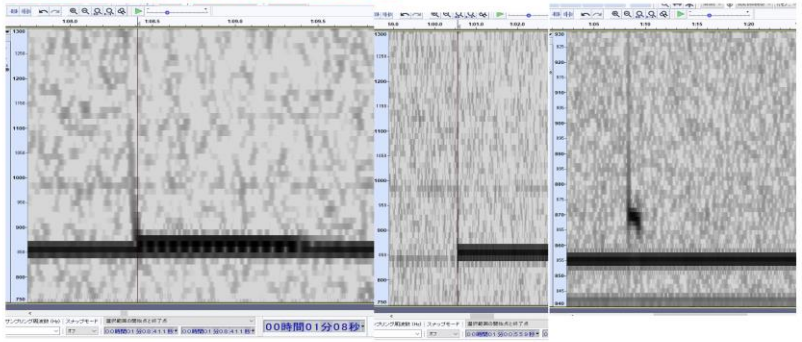
Tsukude



突入角20degのとき、速度は40km/s



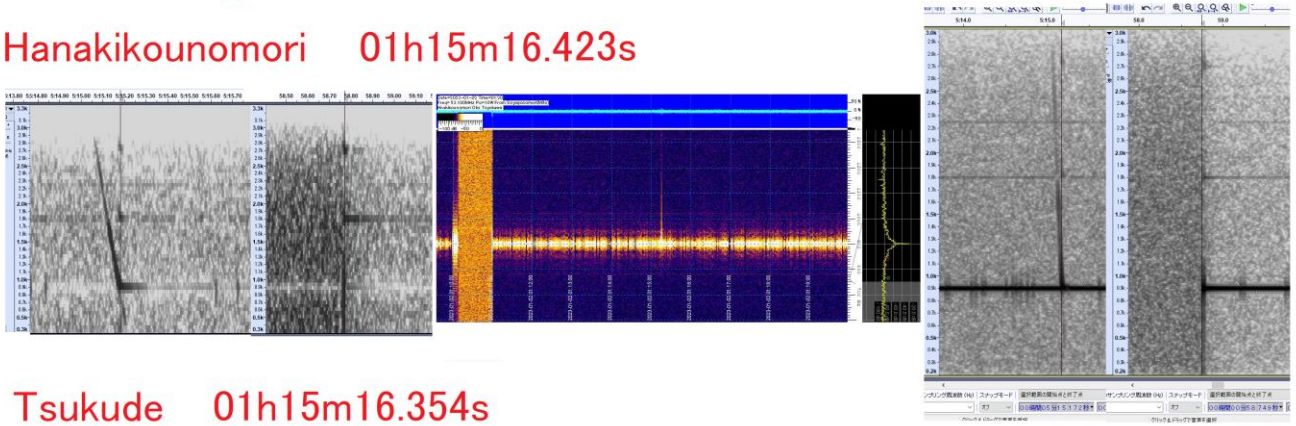
Kosai　01h01m07.852s

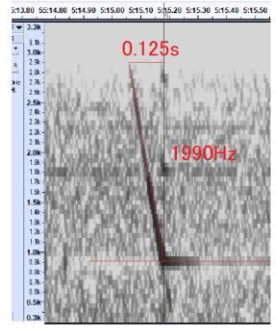


突入角20°、f0点高度93kmとすると、ドップラー周波数は494Hz 観測値553Hzと整合的

20230102_011516

Hanakikounomori　01h15m16.423s

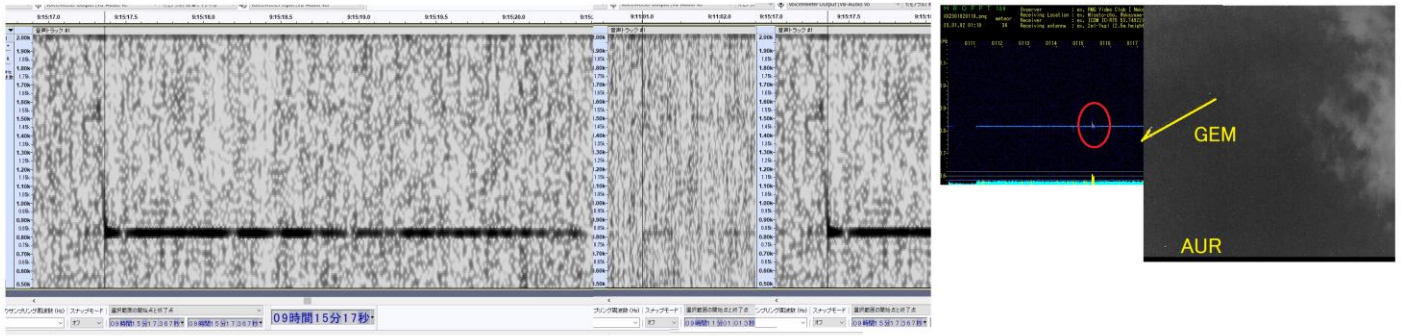


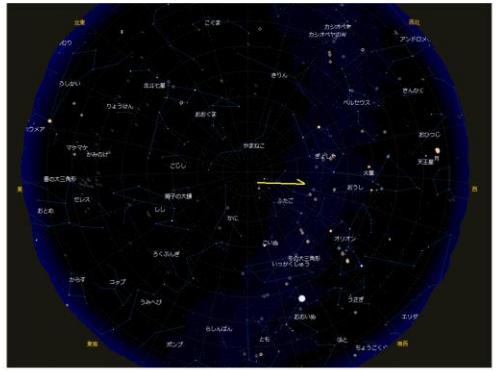


観測速度v=70km/s
f0点通過高度100kmとすると
ドップラー周波数は2160Hz

高度95km～100km、突入角～10°の時
流星速度は65km/s～70km/s

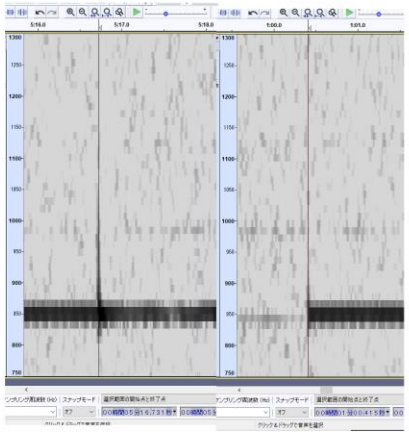
Tsukude　01h15m16.354s

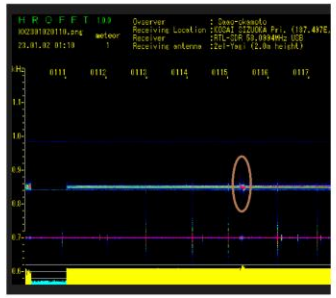


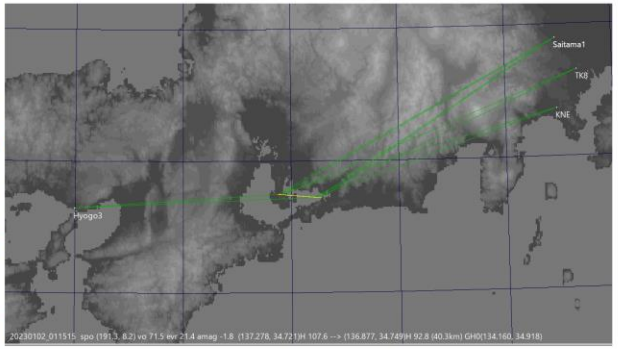


Kosai　01h15m16.316s

8.1/0.11=73.6 km/s

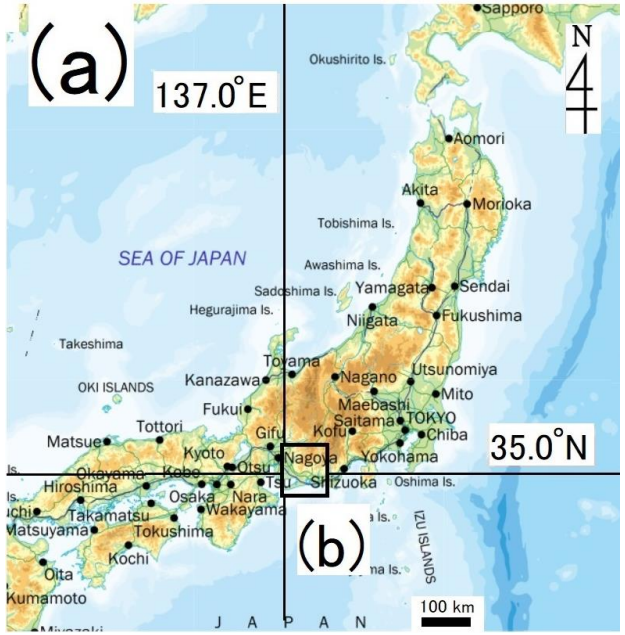


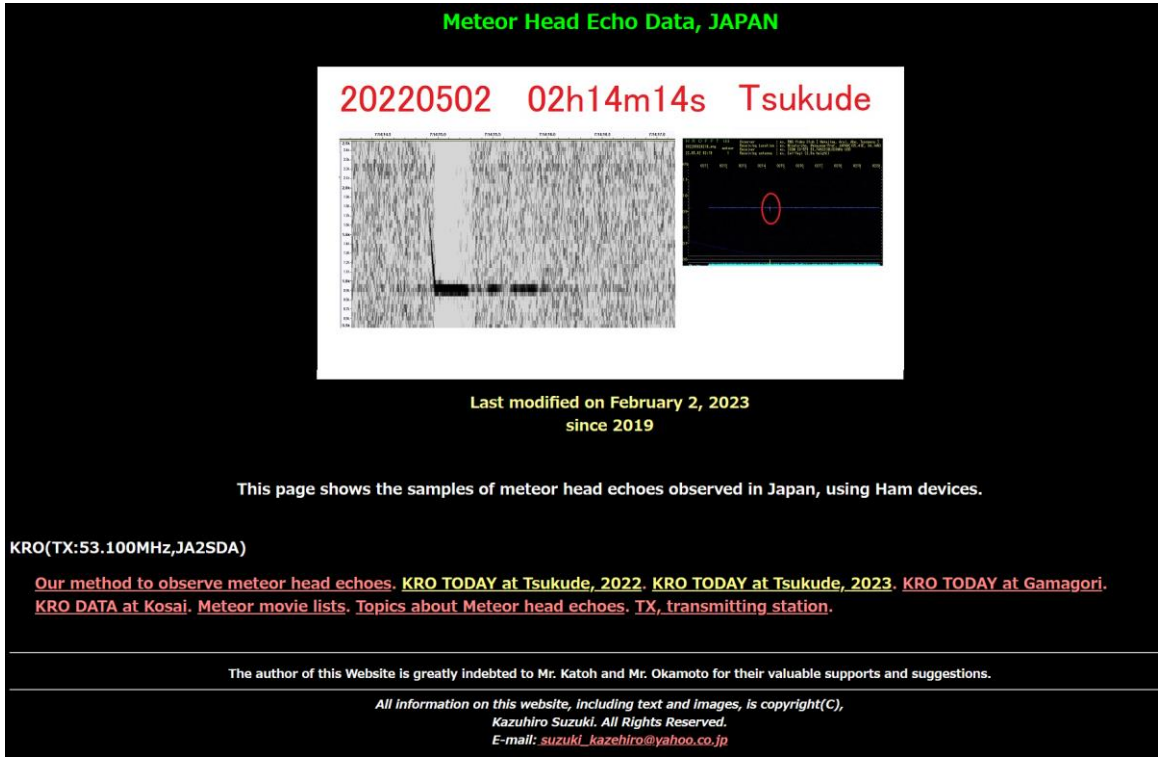




SonotaCoネットデータベースより。藤原さん計算

わが国全土に昼間の火球観測サイトを！





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

KROのカバー領域は半径約100～150km。出力は10Wで十分。送信にはアマチュア無線の免許が必要。明日からでも昼間や曇天時での火球監視が可能です。ただし最低3ヶ所の観測点が必要。仲間を募って始めませんか。