

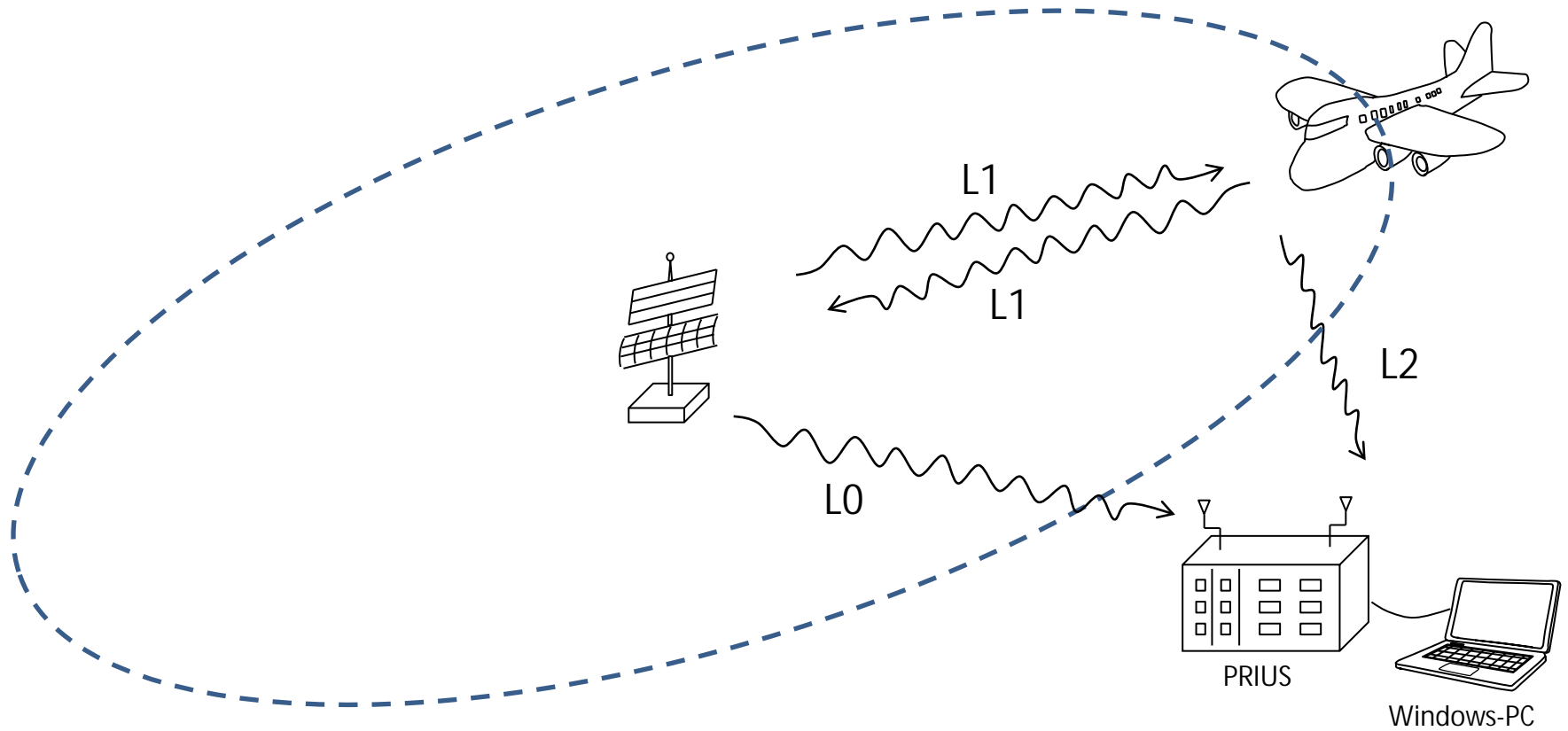
2014年5月23日  
日本航海学会 航空宇宙研究会

# 受動型レーダーの開発の現状と展望

青山秀次 (有)アイ・アール・ティー

# 1. 開発の背景

- ・ 一般的なレーダーは、アンテナから信号を発出して、反射や応答がターゲットから返ってくるまでの時間から、ターゲットの位置を計算しています。
  - ・ 1次レーダーと2次レーダーの2種類が存在し、1次レーダーはバーストパルスを発出して、それがターゲットで反射された微弱信号を受信します。
  - ・ 2次レーダーでは、レーダーから質問信号を発出し、質問信号はターゲット航空機にて受信され、それに対する航空機からの応答信号を受信します。
  - ・ 時間の遅れを計算する事により、ターゲットの位置を計算して、2次レーダーでは更に種別(スコーク)、高度情報を得ることが出来ます。
- 
- ・ 上記の一般的なレーダーは、自身から強力な電波を発出する事を大前提としており、使用には許可が要ることは勿論、多種雑多なレーダーシステムの混在は、レーダーシステムの信頼性を著しく損なうことになりかねません。
  - ・ 上記の事情から、自身では電波を一切発出しない、受動型レーダー(パッシブレーダー)の出現が待たれていました。自身では全く電波を出さずに、親となる既存のレーダーシステムに完全同期させるために、受動型レーダーでは、基本的には親機のレーダーシステムと全く同じ情報が得られます。



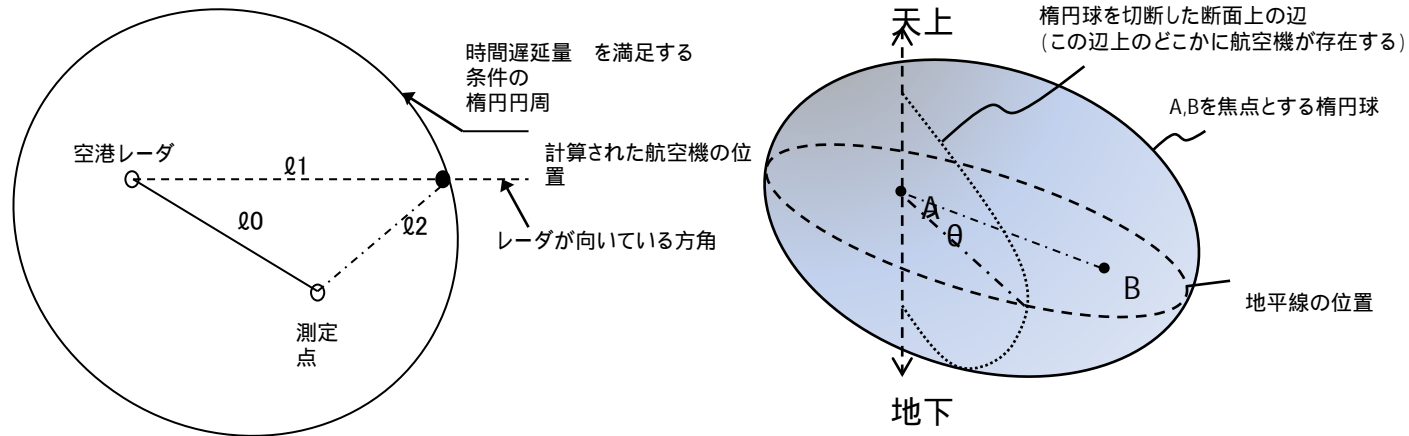
通常のレーダー(1次レーダー、2次レーダー)と、受動型レーダーの位置関係

## 2. 受動型レーダー (PRIUS-1/2) の原理

空港レーダーからの発出電波を受けて航空機が応答する信号、あるいは機体によって反射する信号を捉え、航空機の位置を決定するレーダーです。

$$= \frac{L1 + L2}{c} + t1 - \frac{L0}{c}$$

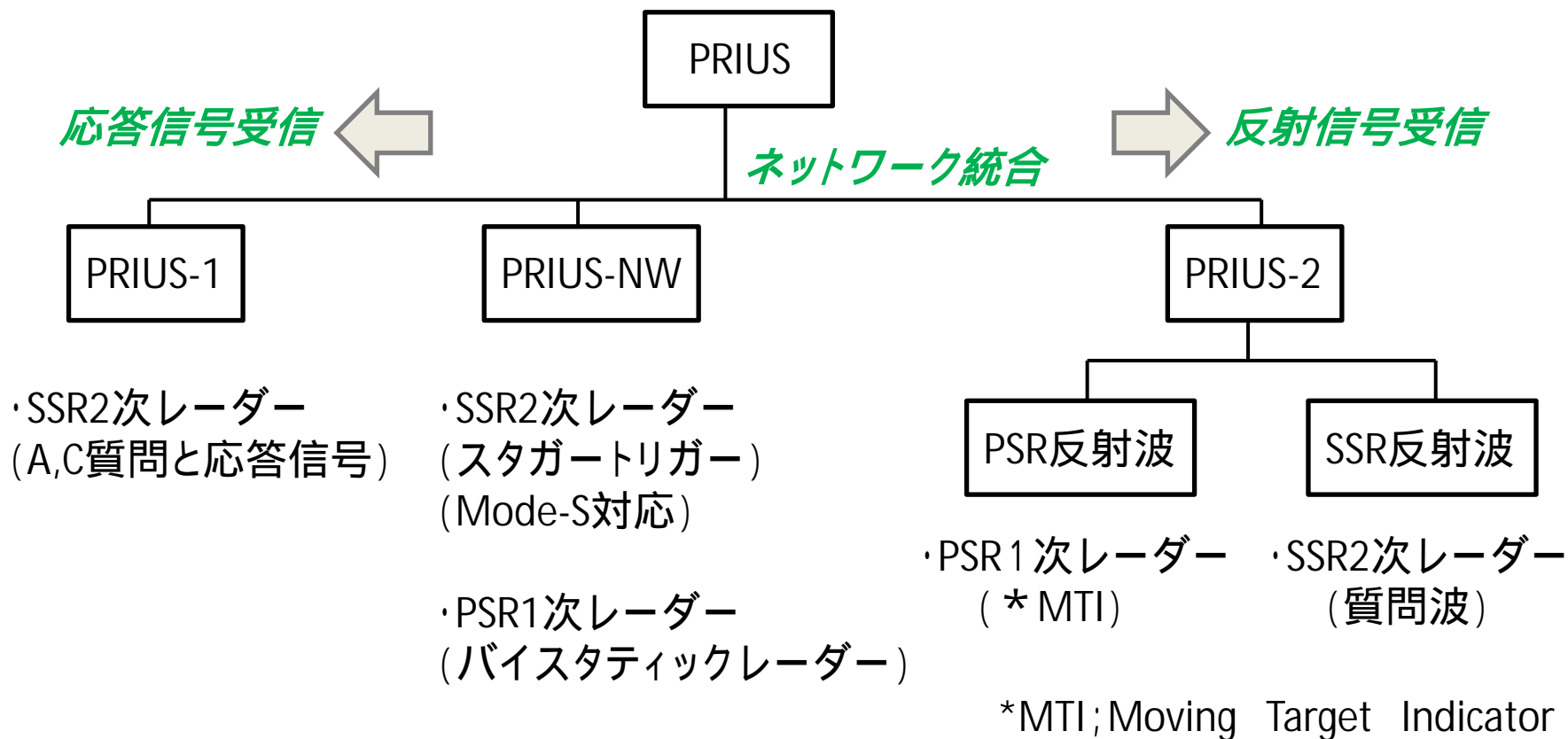
$\tau$  ; レーダからの直接波と航空機からの反射信号の受信タイミングの時間差  
 $L1$ ; レーダと航空機の距離  
 $L2$ ; 測定点と航空機の距離  
 $c$  ; 光速  
 $L0$ ; レーダと測定点の距離  
 $t1$ ; 時間補正值



上の図に於いて、空港レーダの位置と測定点の位置を焦点とする楕円上に存在するはずの航空機の座標を上式によって導き出します。

- (1) PRIUS-1 航空機からの応答信号を受信して計算するシステムです。軍用機など応答をしていないターゲットは捕捉できません。
- (2) PRIUS-2 航空機からの反射信号を受信して計算するシステムです。応答のない機体からもターゲットは確定できます。

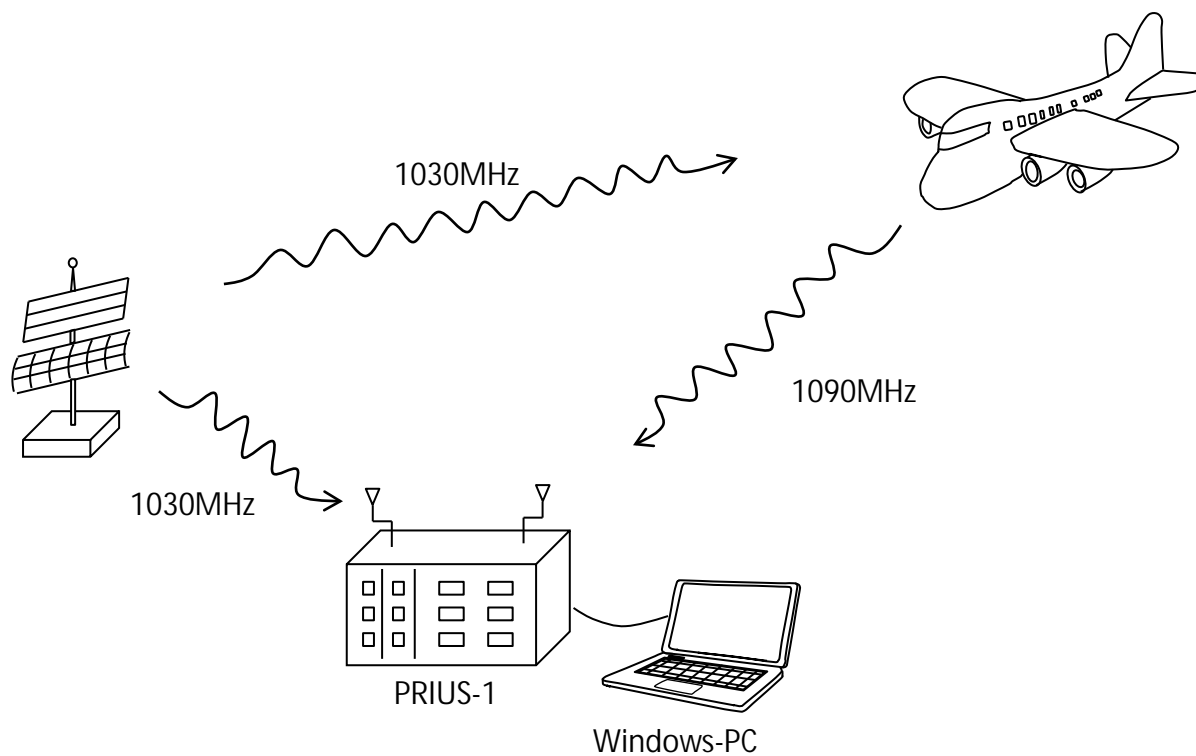
## 2. 受動型レーダーの種類



### 3. 受動型レーダー PRIUS シリーズの各シーンへの適用

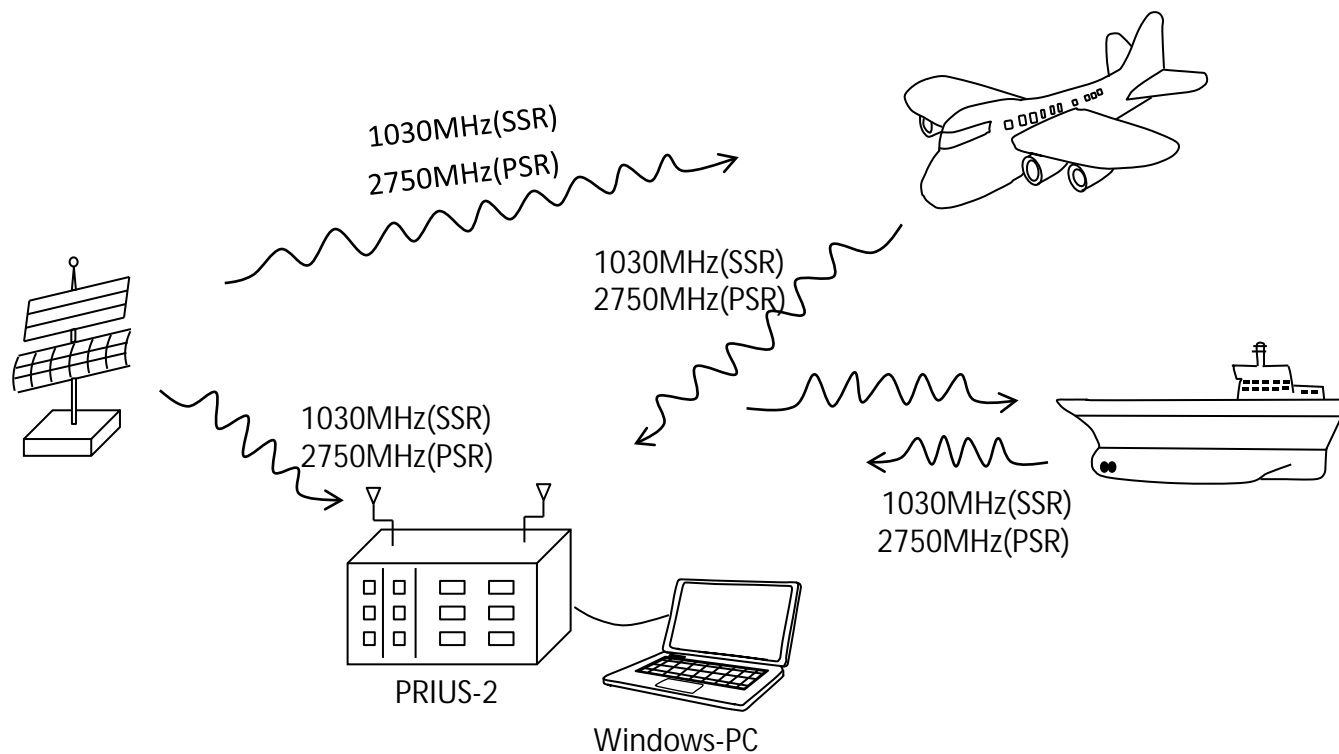
	自立型	ネットワーク結合型
SSR2次レーダー (質問, 応答)	<p><i>PRIUS-1</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>・SSR A,C質問と応答</li></ul>	<p><i>PRIUS1-NW</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>・レーダープロファイリングサービス</li><li>・不感帯対策</li><li>・遠隔地利用 / 山岳地利用</li></ul>
SSR/PSR (反射波)	<p><i>PRIUS-2</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>・SSR質問波反射レーダー</li></ul>	<p><i>PRIUS2-NW</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>・ハイスティックレーダー</li><li>・スティルス検出</li></ul>

## 4. 実際の設置例 (PRIUS-1)



- ・ 設定可能な範囲 : レーダーからの電波が届く距離 10 ~ 40km
- ・ 航空機補足可能範囲 : 半径200km以上
- ・ 航空機補足可能数 : 無制限

## 4.2 . 実際の設置例 (PRIUS-2)

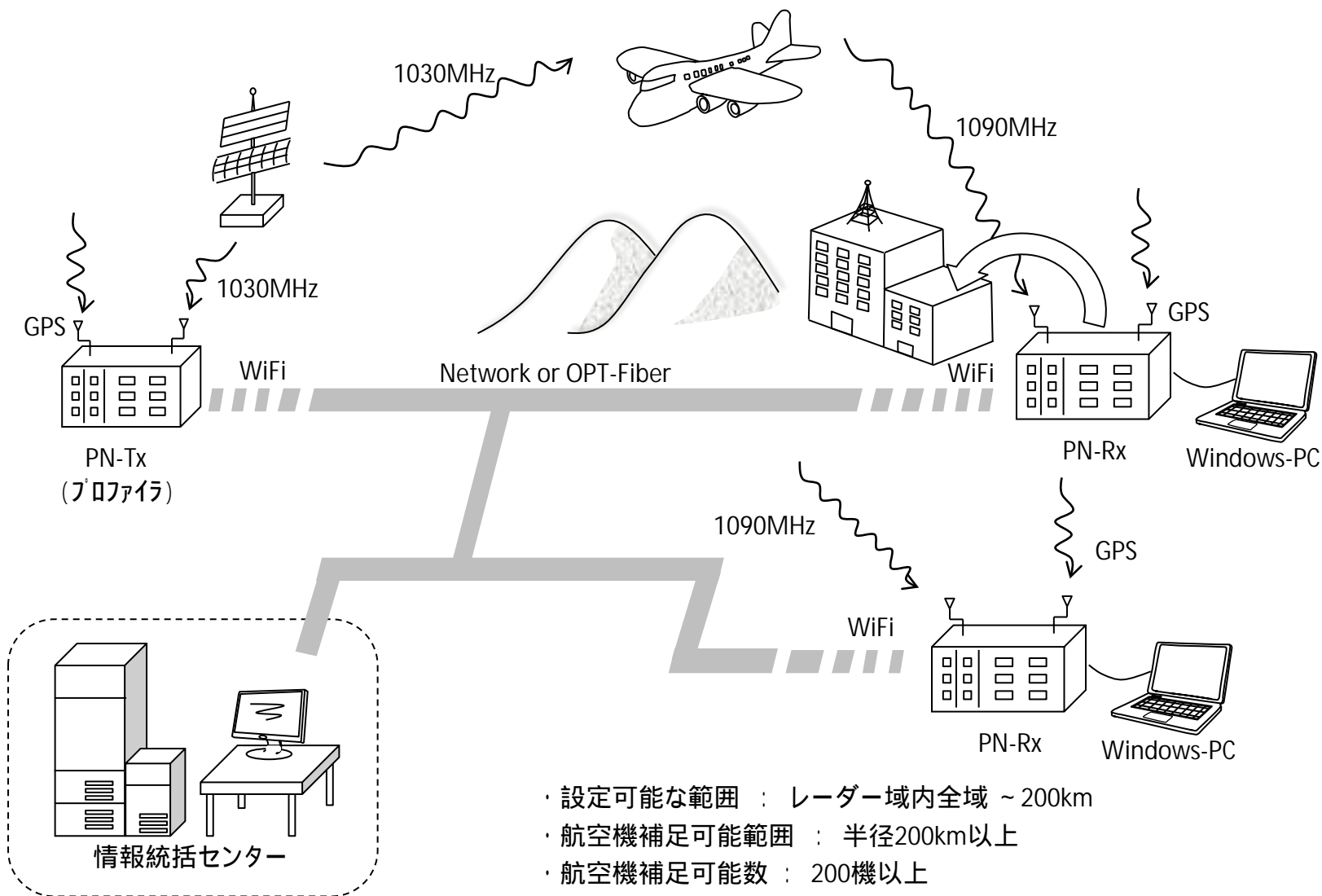


全方向監視の為には複数アンテナ必要

・PSRにおける設置可能位置 レーダーから数十km

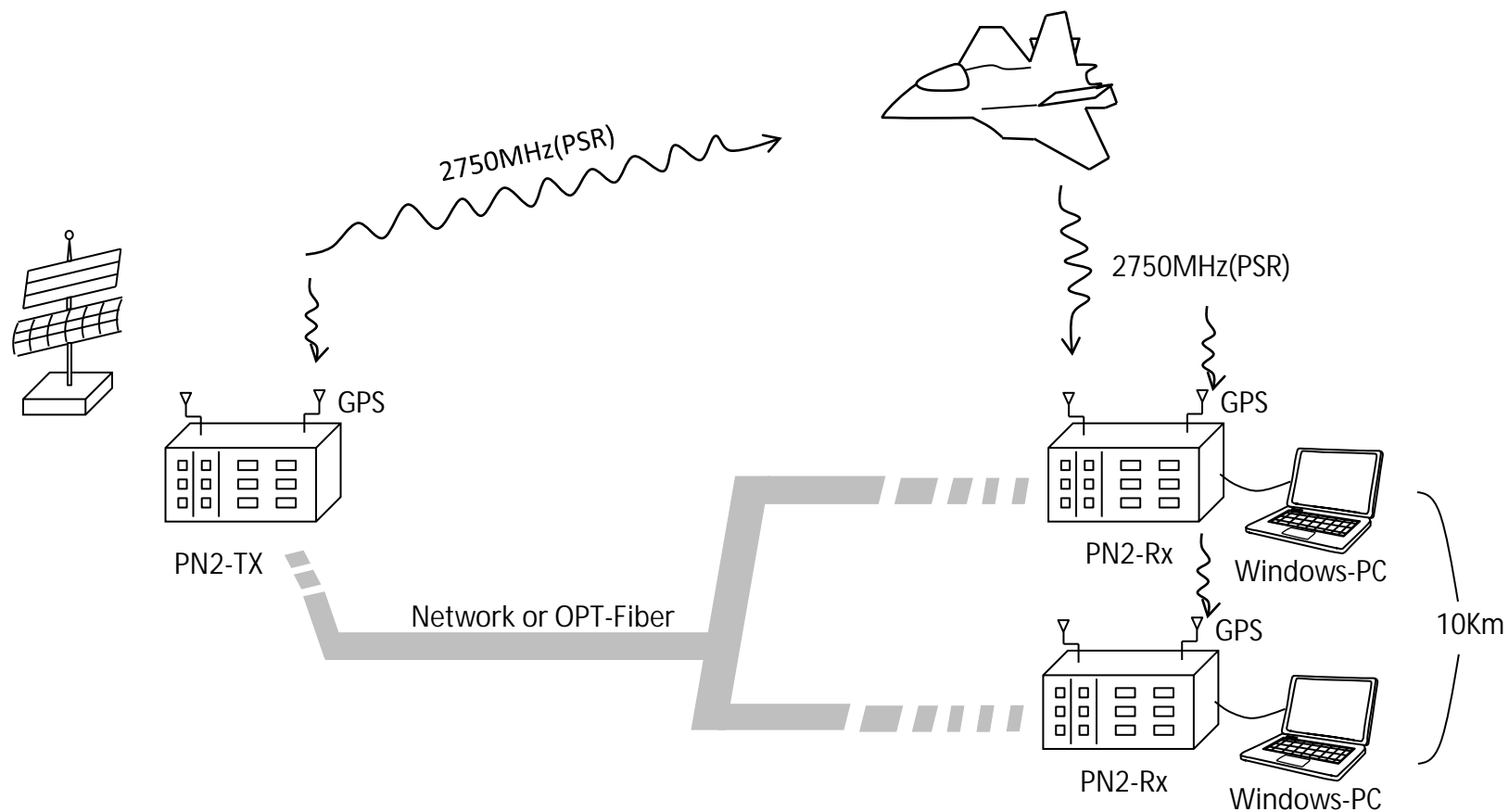


## 4.3 . 実際の設置例 (PRIUS1-NW)



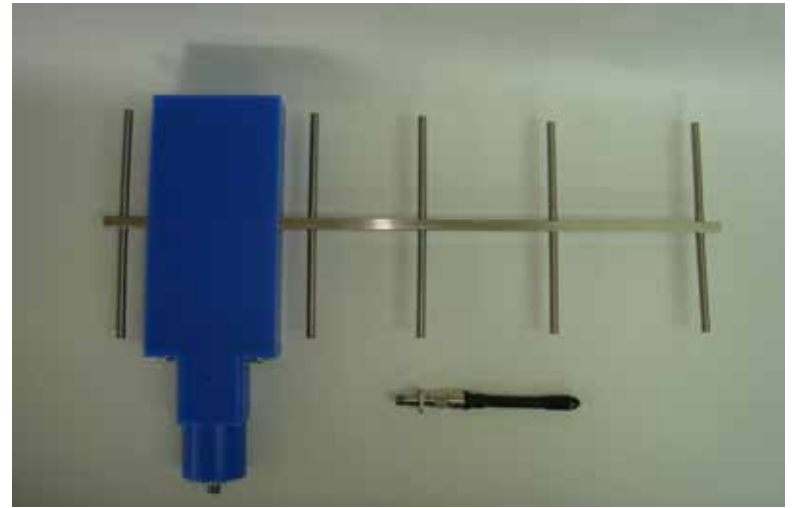
- ・ 設定可能な範囲 : レーダー域内全域 ~ 200km
- ・ 航空機補足可能範囲 : 半径200km以上
- ・ 航空機補足可能数 : 200機以上

## 4.4 . 実際の設置例 (PRIUS2-NW)

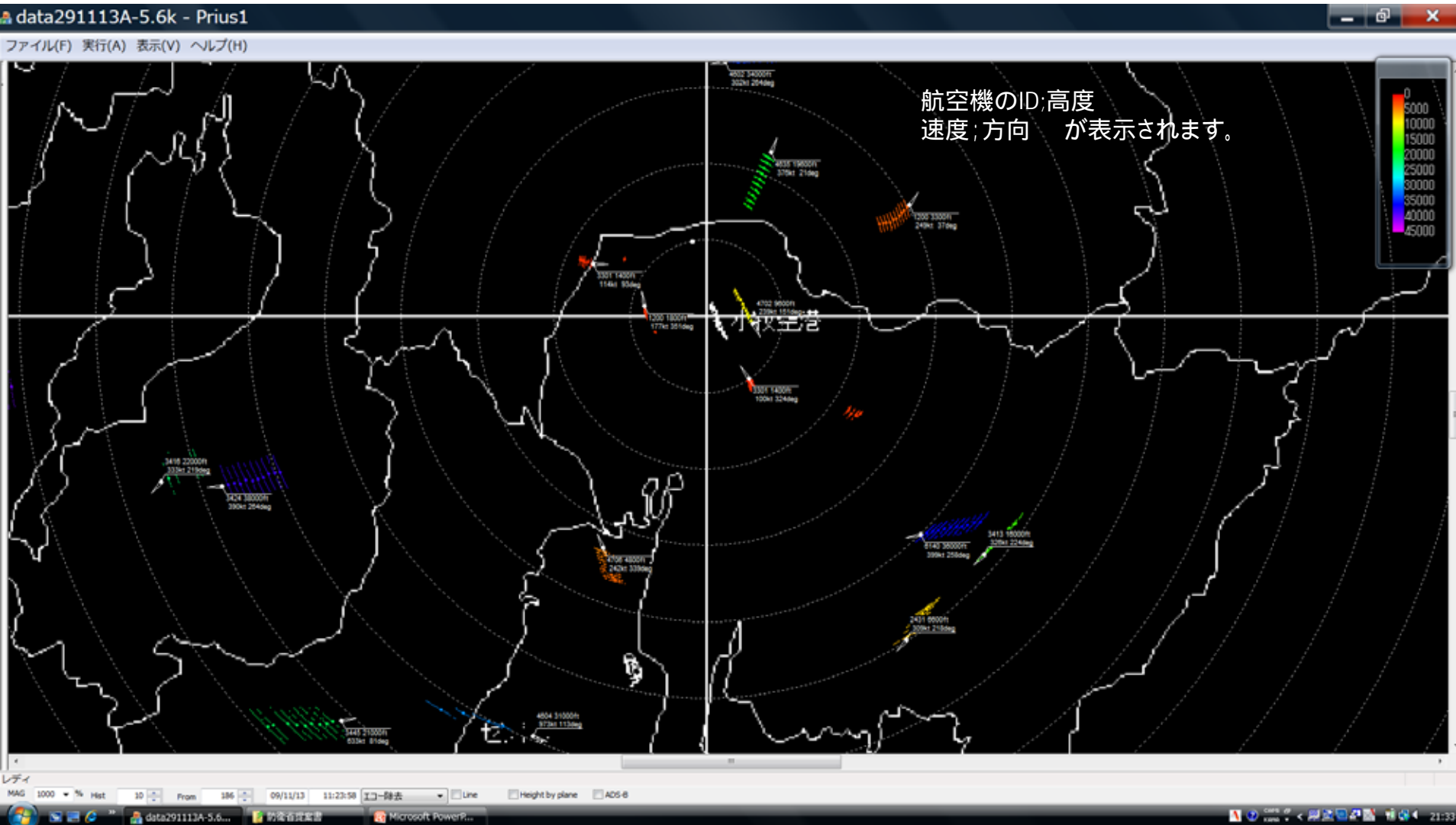


・設置可能位置 100km離れて10km間隔(推定)

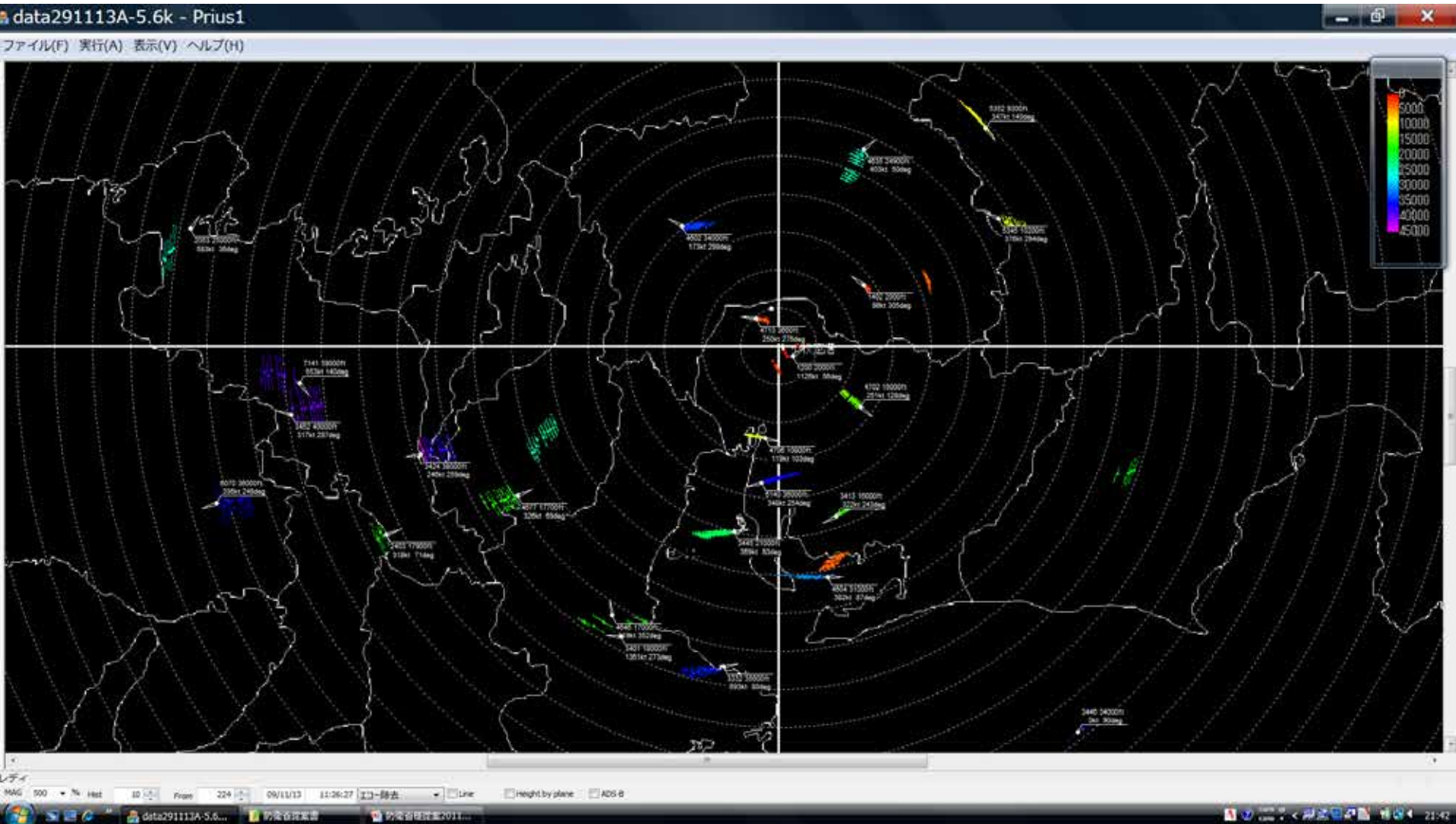
## 5. 受動型レーダー (PRIUS-1) システムの実際



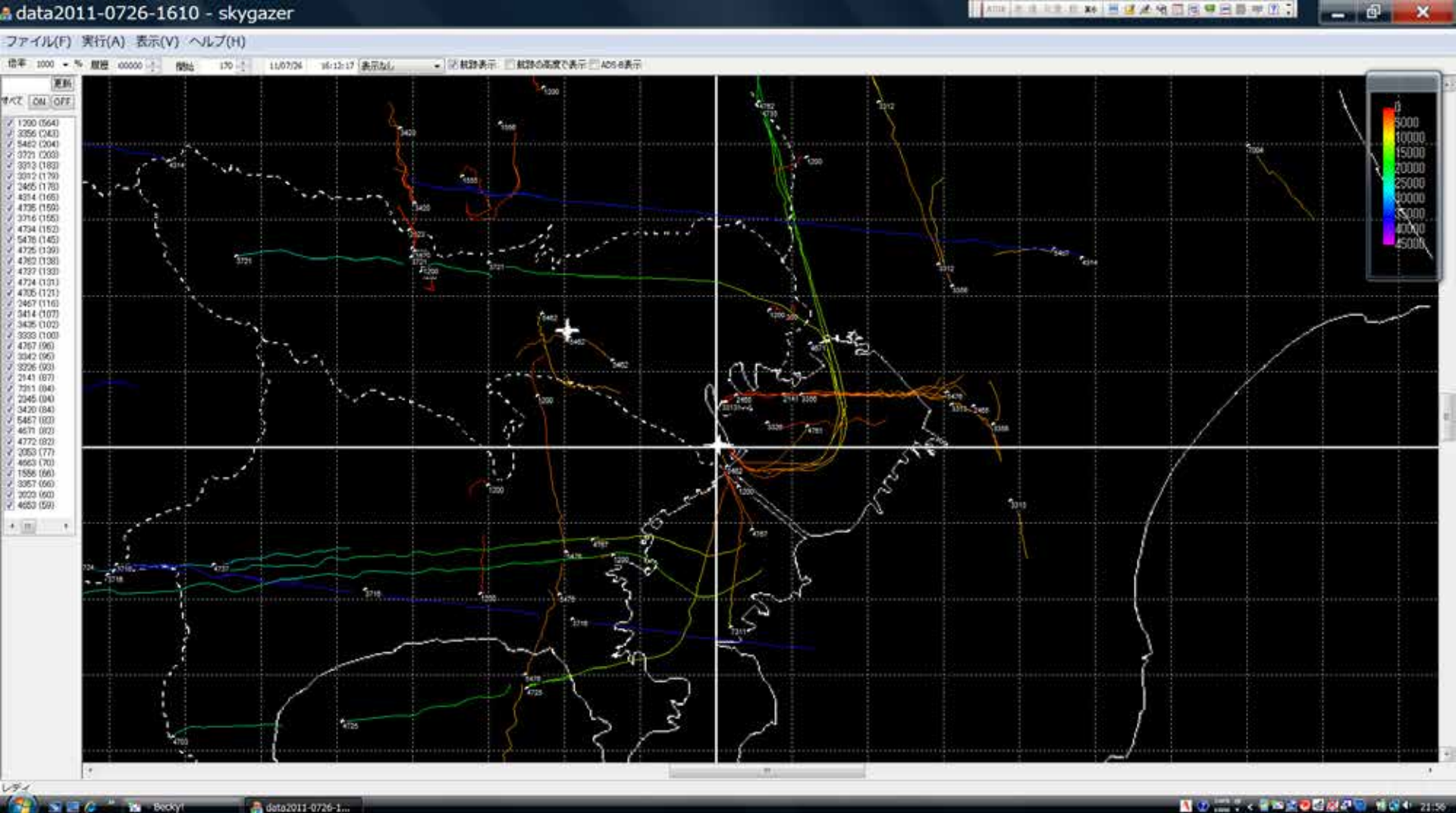
# 6. PRIUS-1 リアルタイム表示例(小牧空港SSR)



## 6.2 . PRIUS-1 リアルタイム表示例(広域表示)





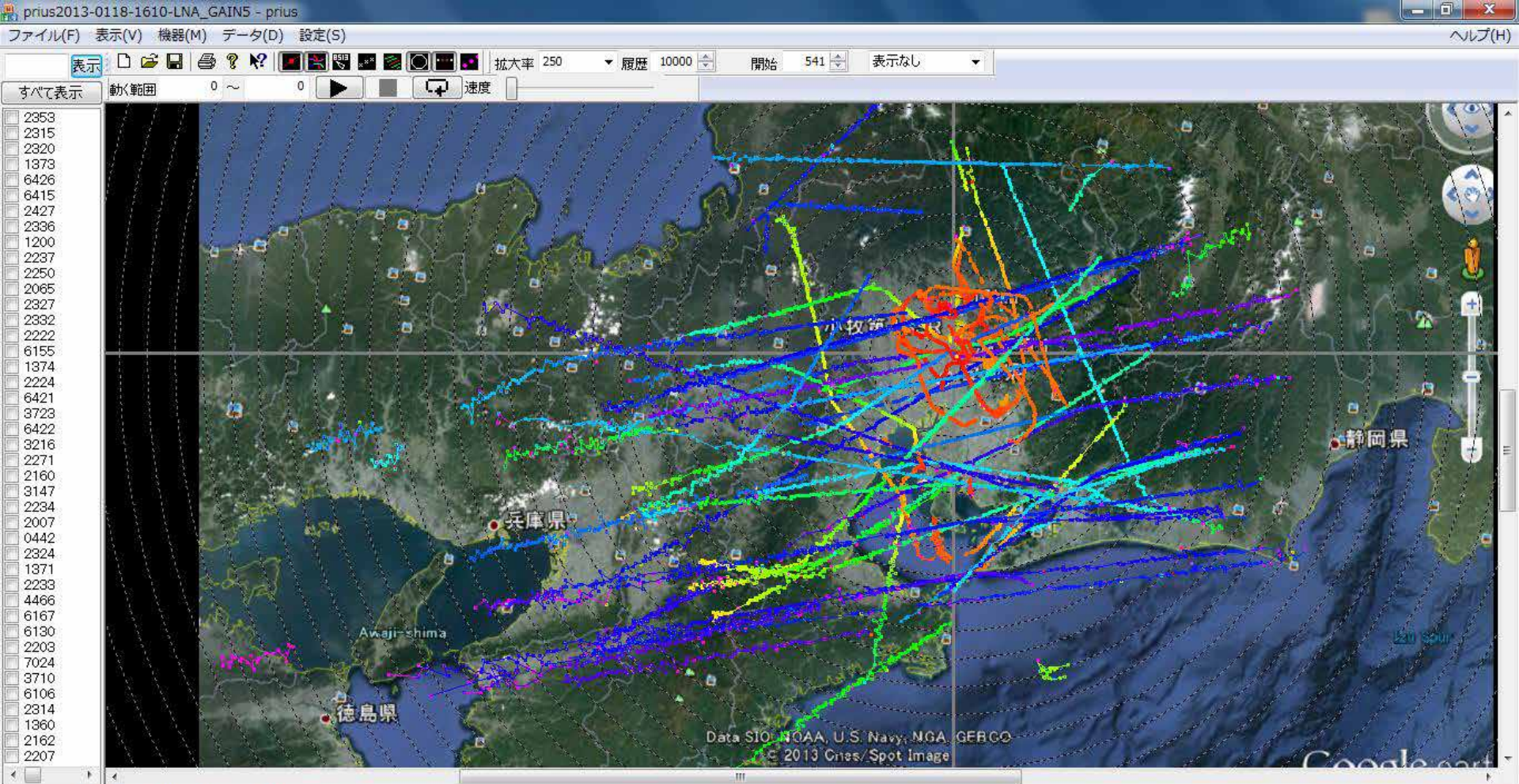


PRIUS-1にて羽田SSRターゲットで、三鷹地区から観測した例

23<sup>th</sup> May 2014 Proprietary

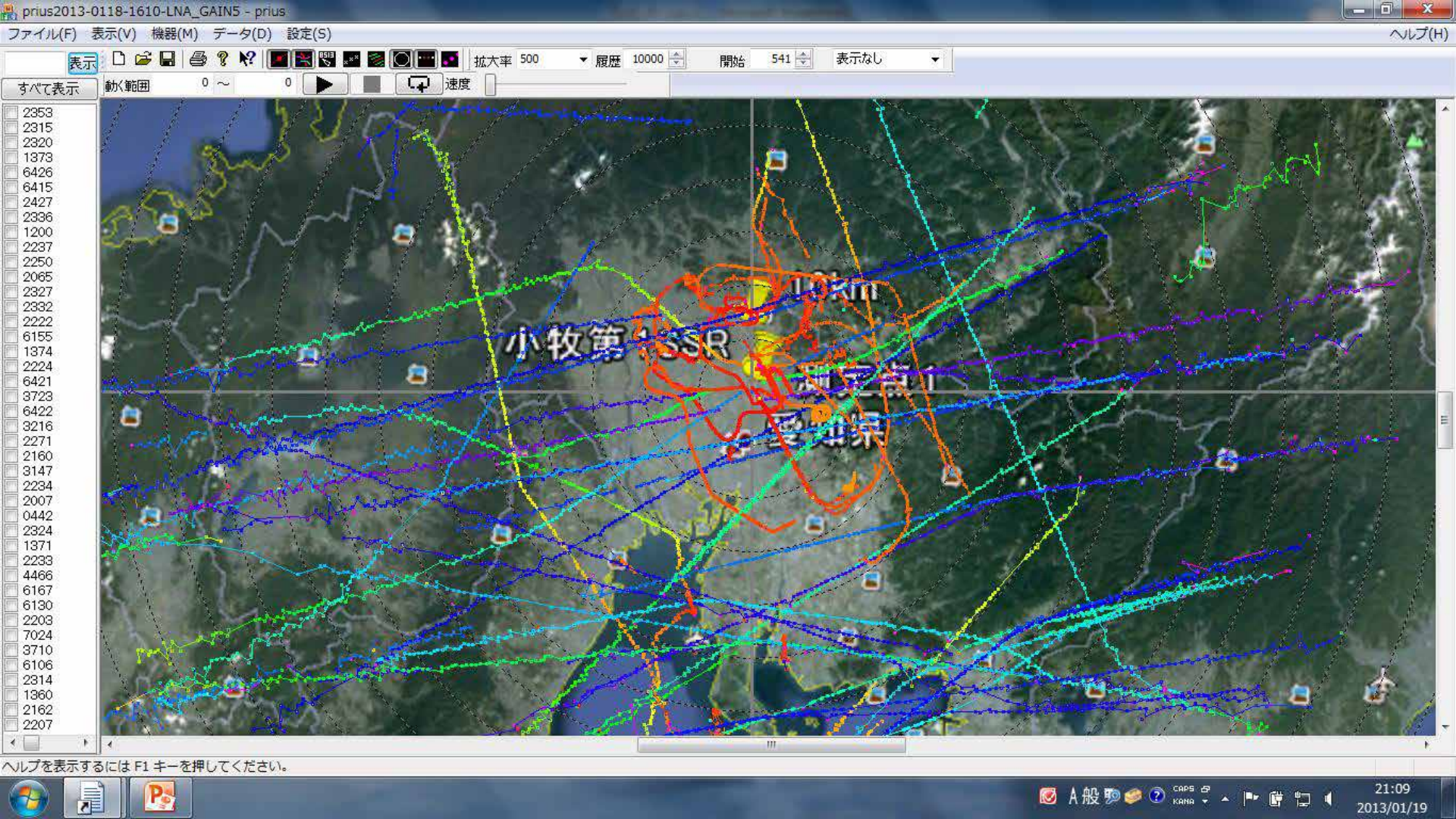
IRT





ヘルプを表示するには F1 キーを押してください。



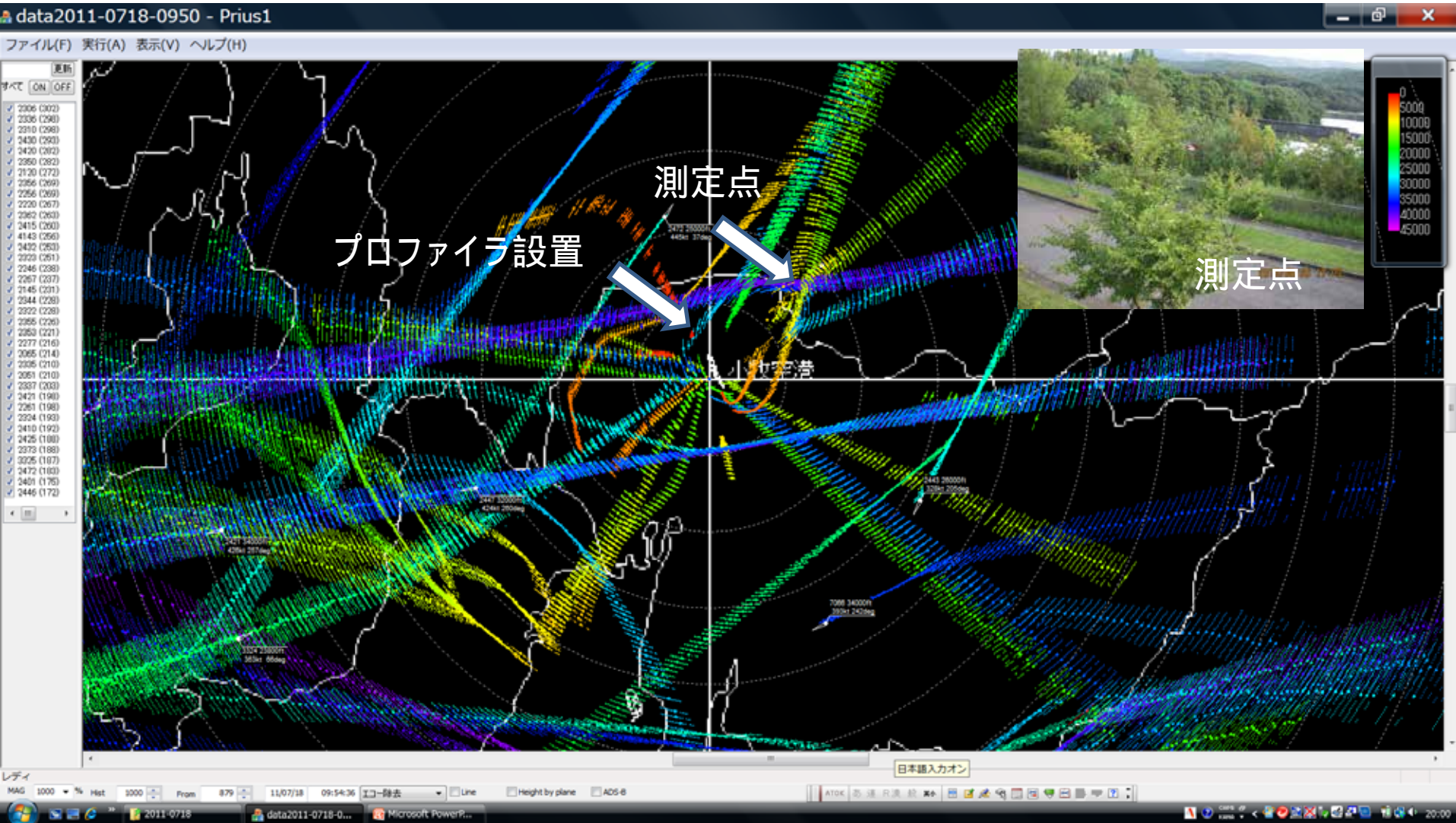


23<sup>th</sup> May 2014 Proprietary

IRT



# 7. PRIUS1-NW 表示例 (岐阜県山中から小牧空港SSR)

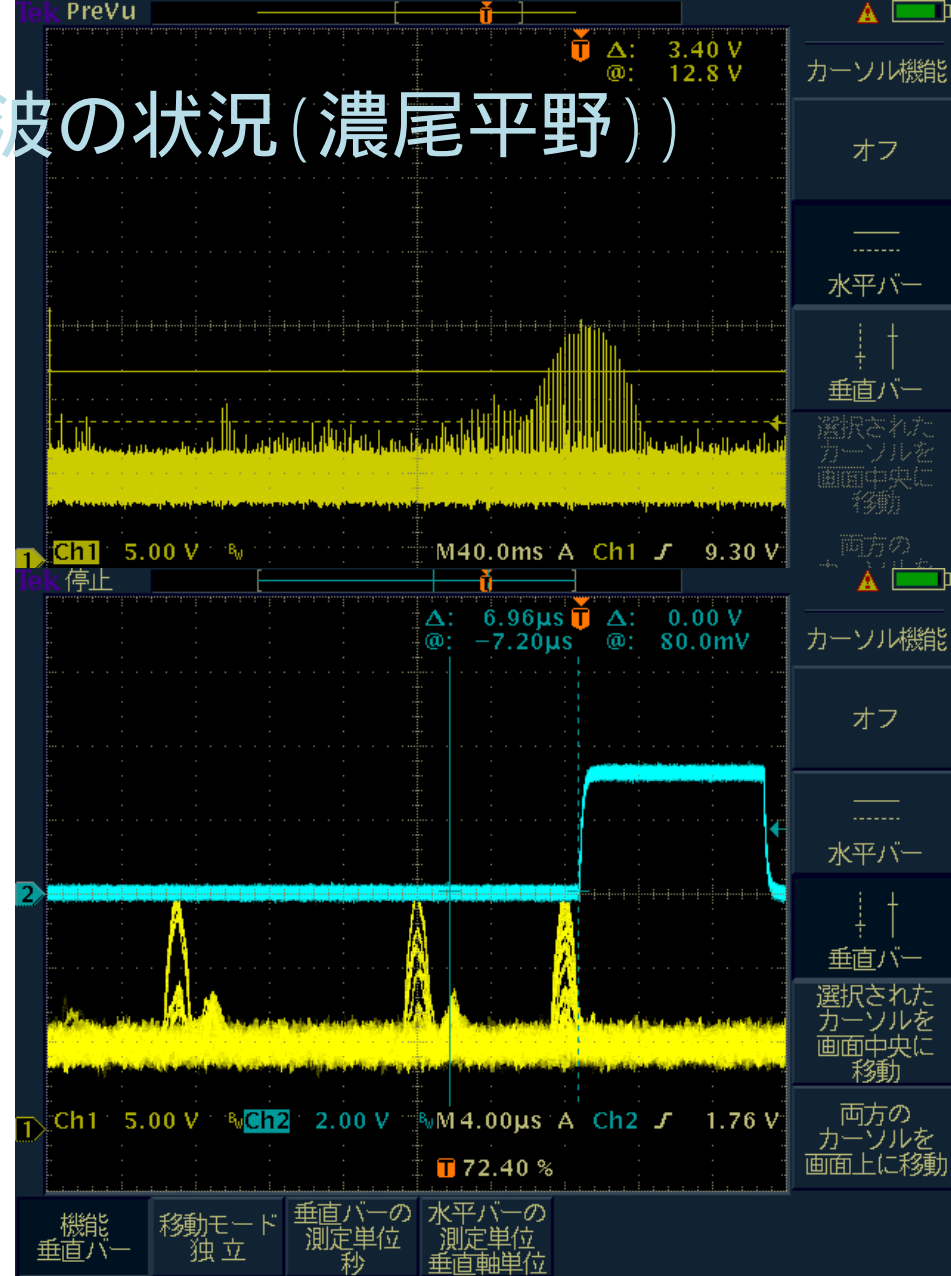
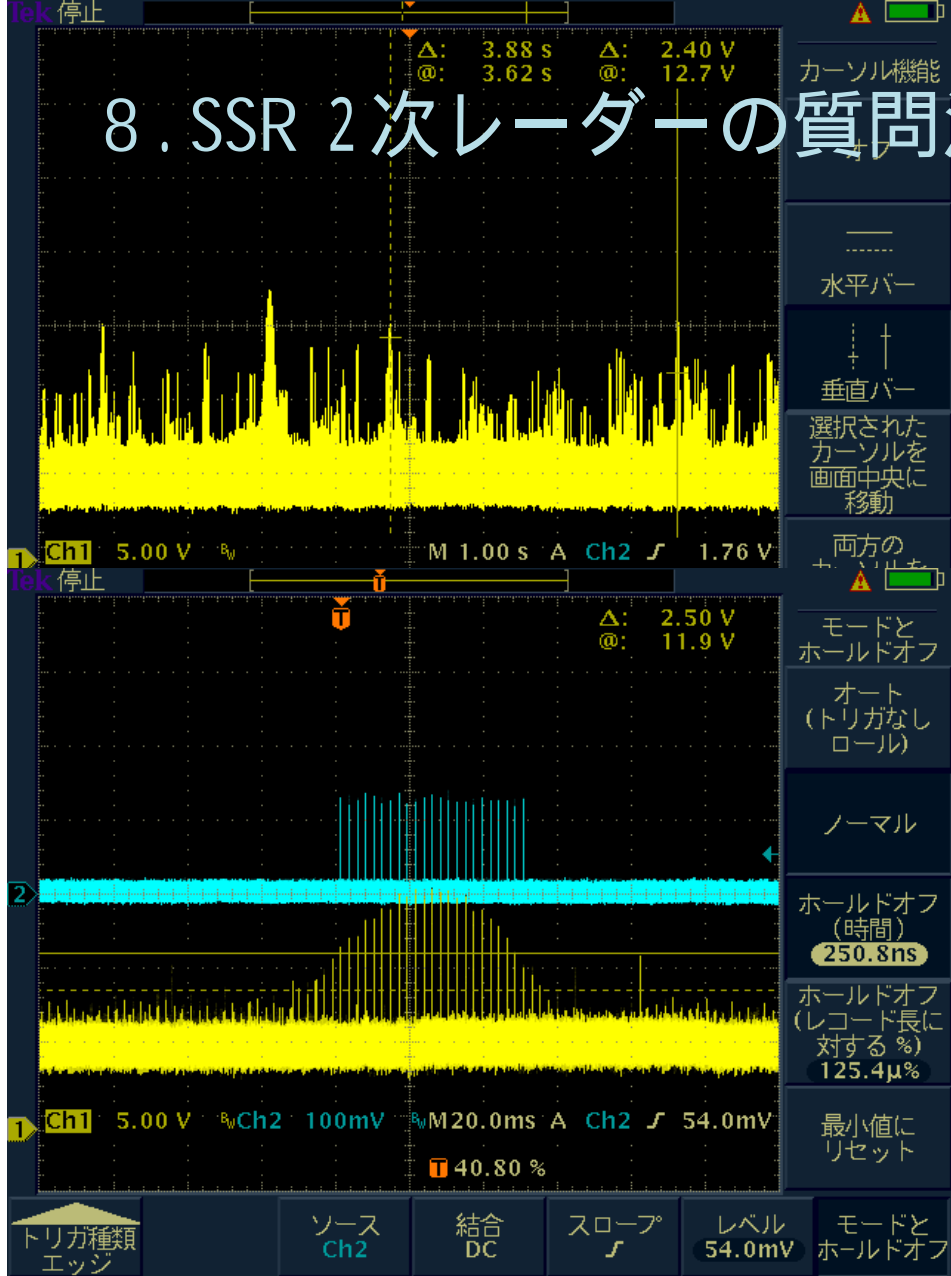


1030MHzレーダプロファイラ装置を柏森地区に配置し、可児市から測定した結果。

23<sup>th</sup> May 2014 Proprietary

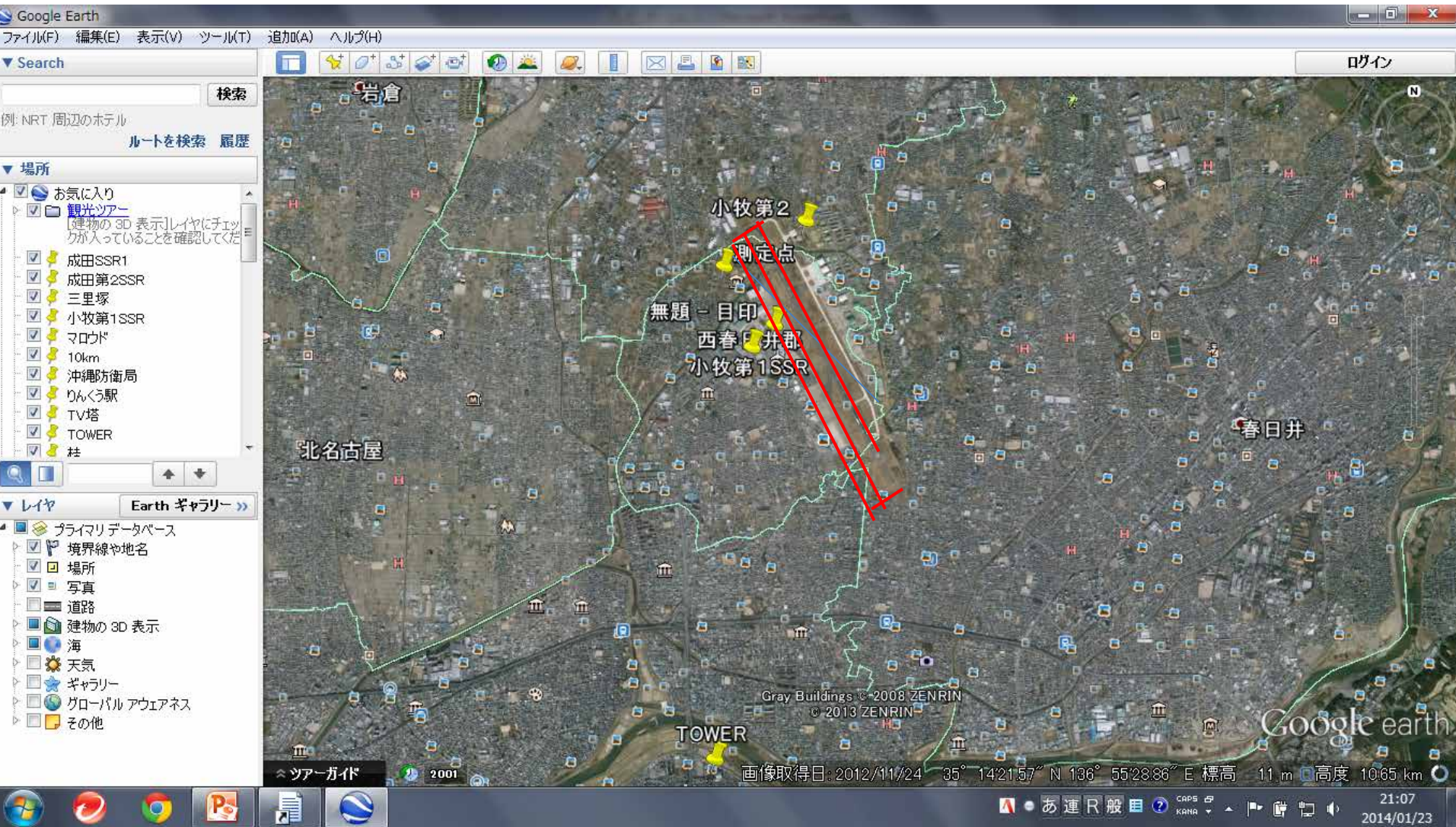
IRT

# 8. SSR 2次レーダーの質問波の状況(濃尾平野)





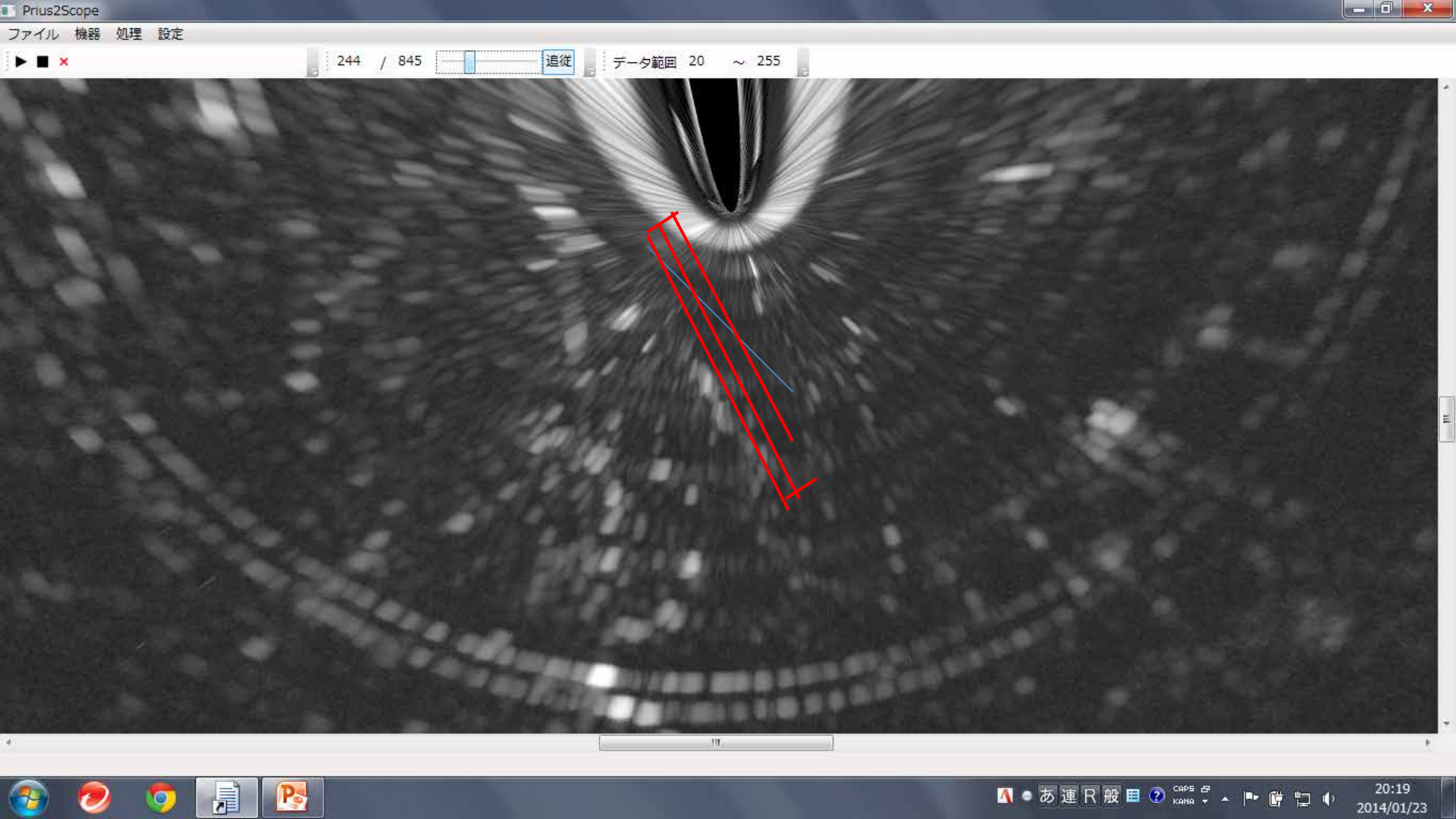
# 9. PRIUS-2 反射波型受動型レーダー取得例



滑走路は3本。改善型PRIUS-2にて柏森から小牧空港の滑走路をみた。

23<sup>th</sup> May 2014 Proprietary

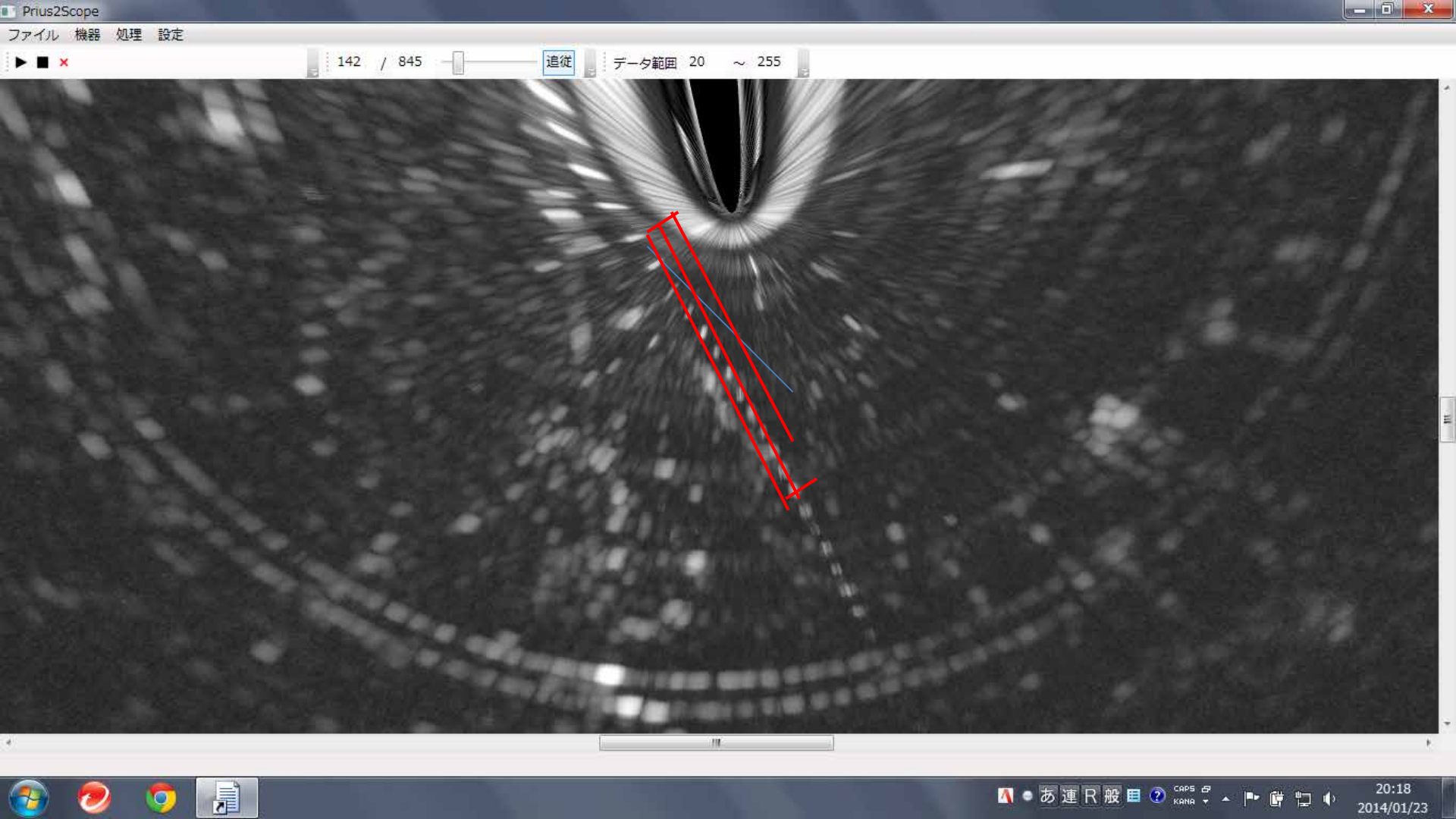
IRT



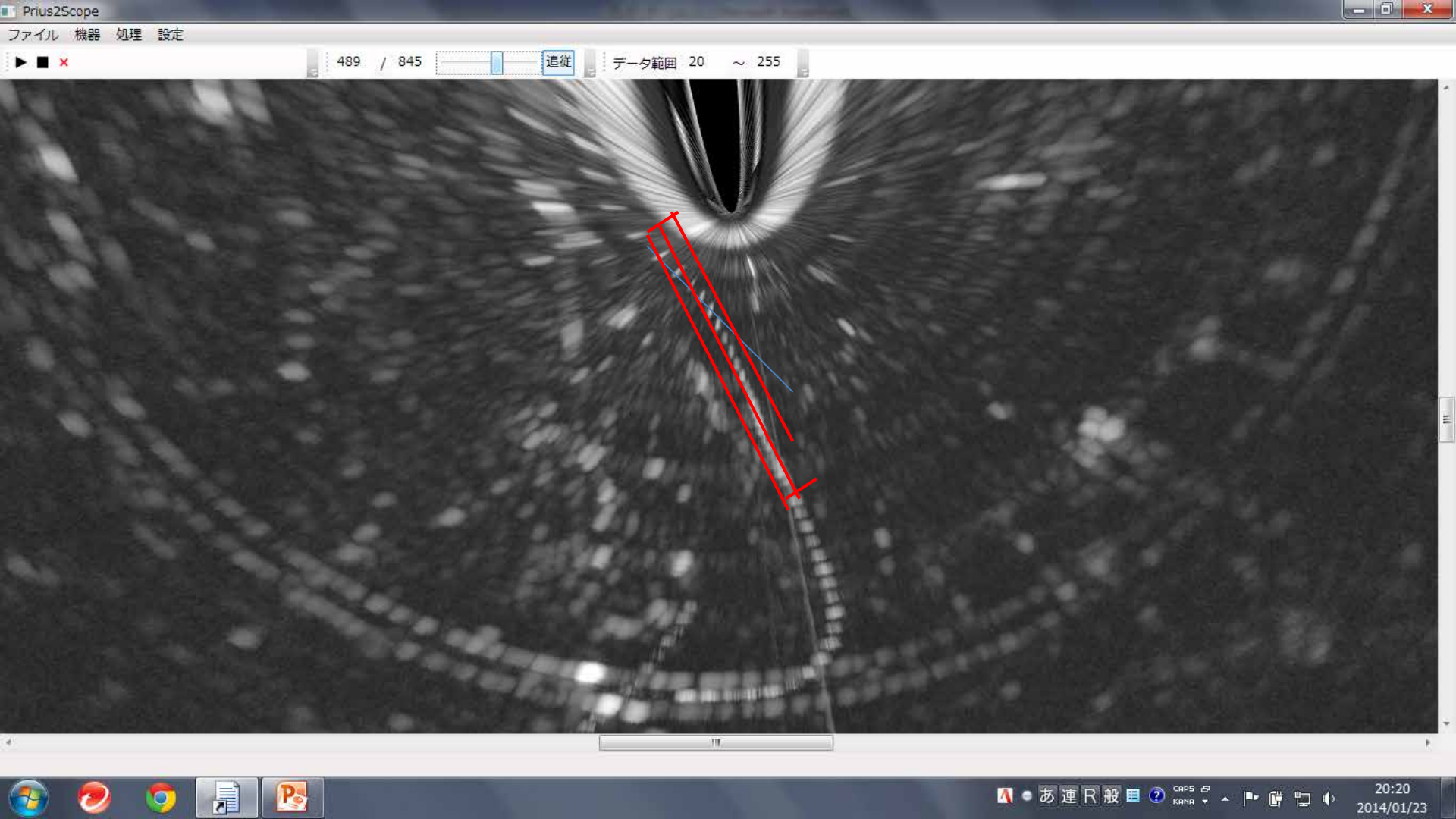
23<sup>th</sup> May 2014 Proprietary

IRT

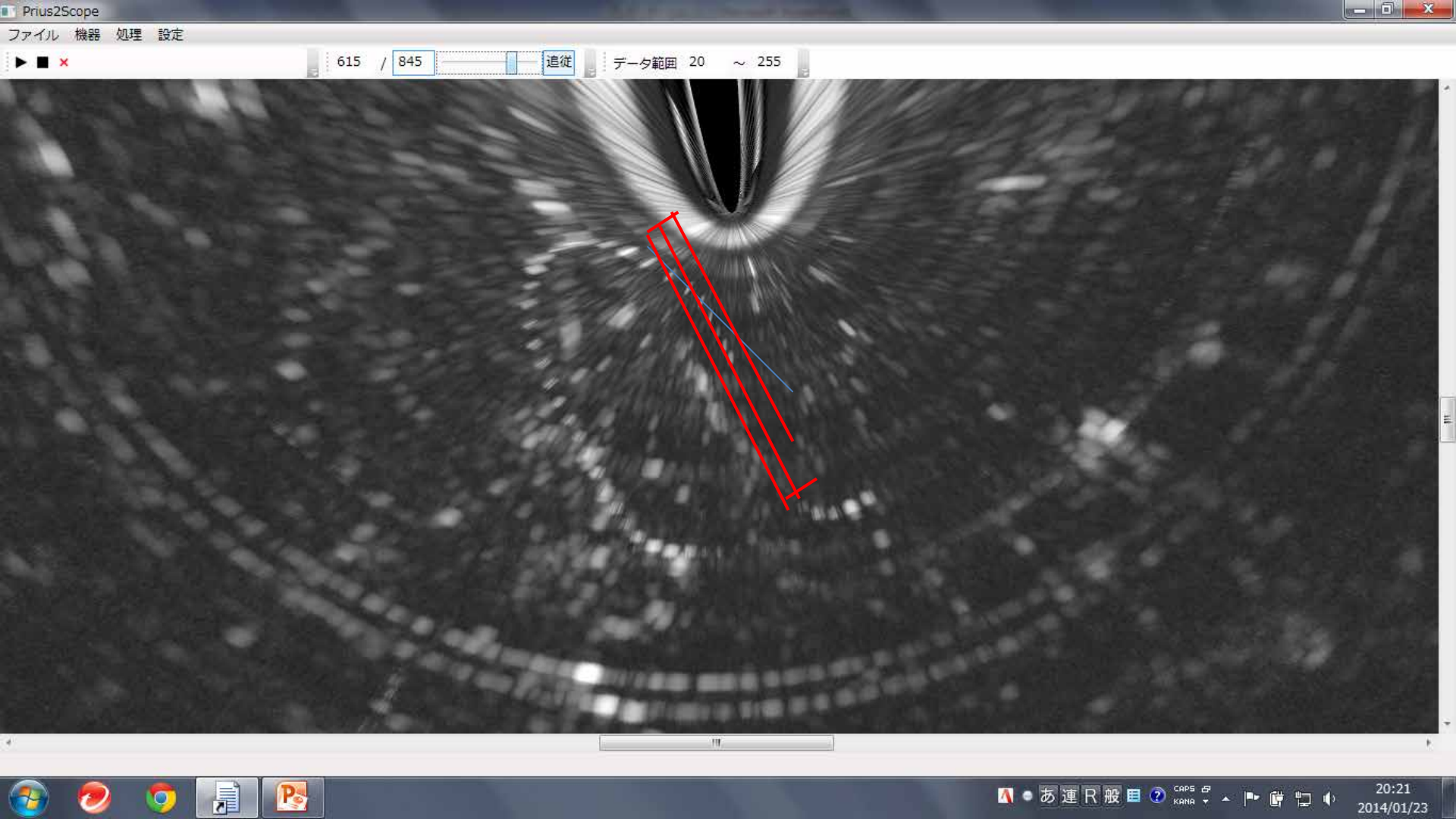




これは、恐らく滑走路上空を南から北に通過するへり。反射量は安定している。

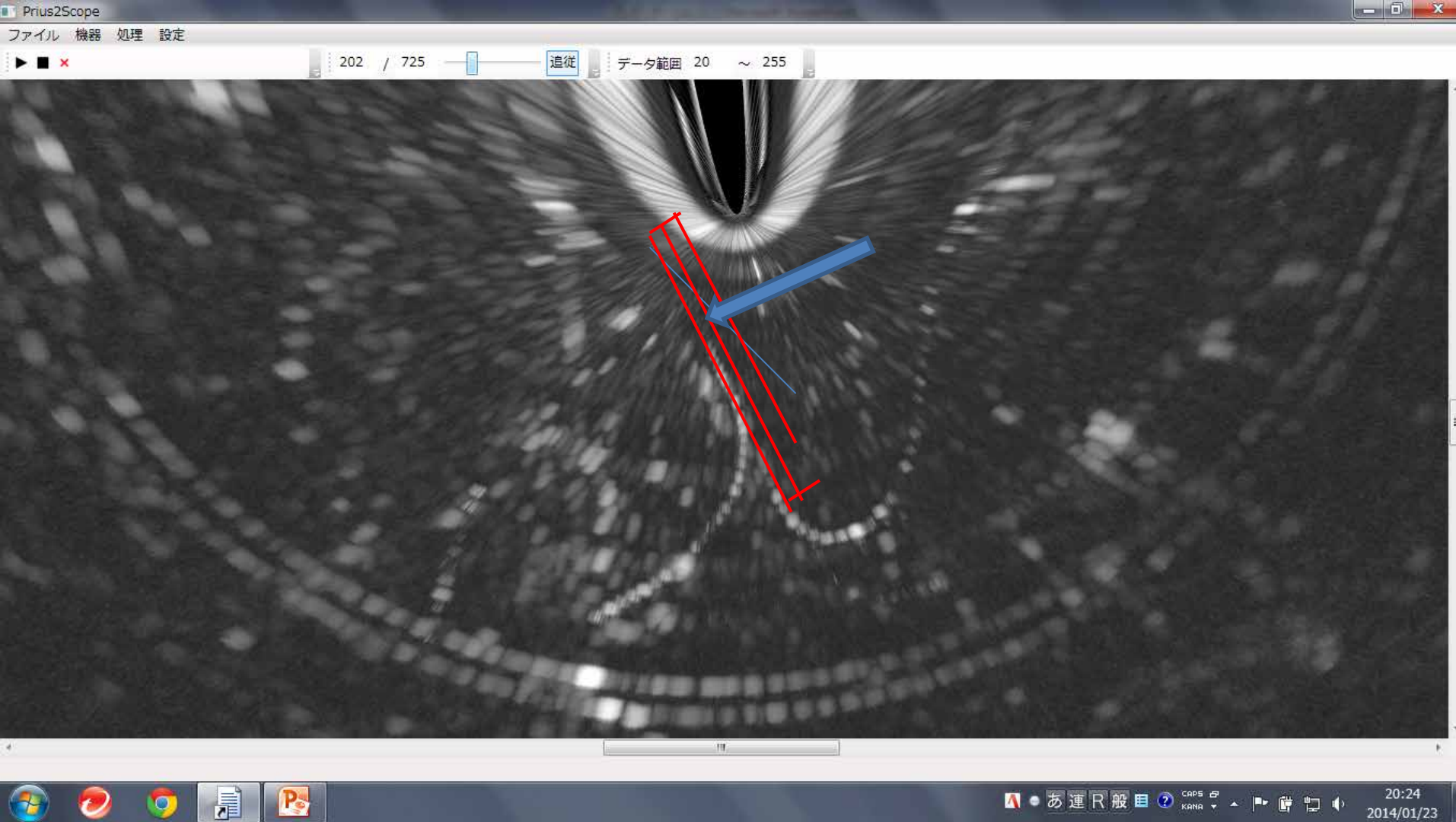


これも同じ。



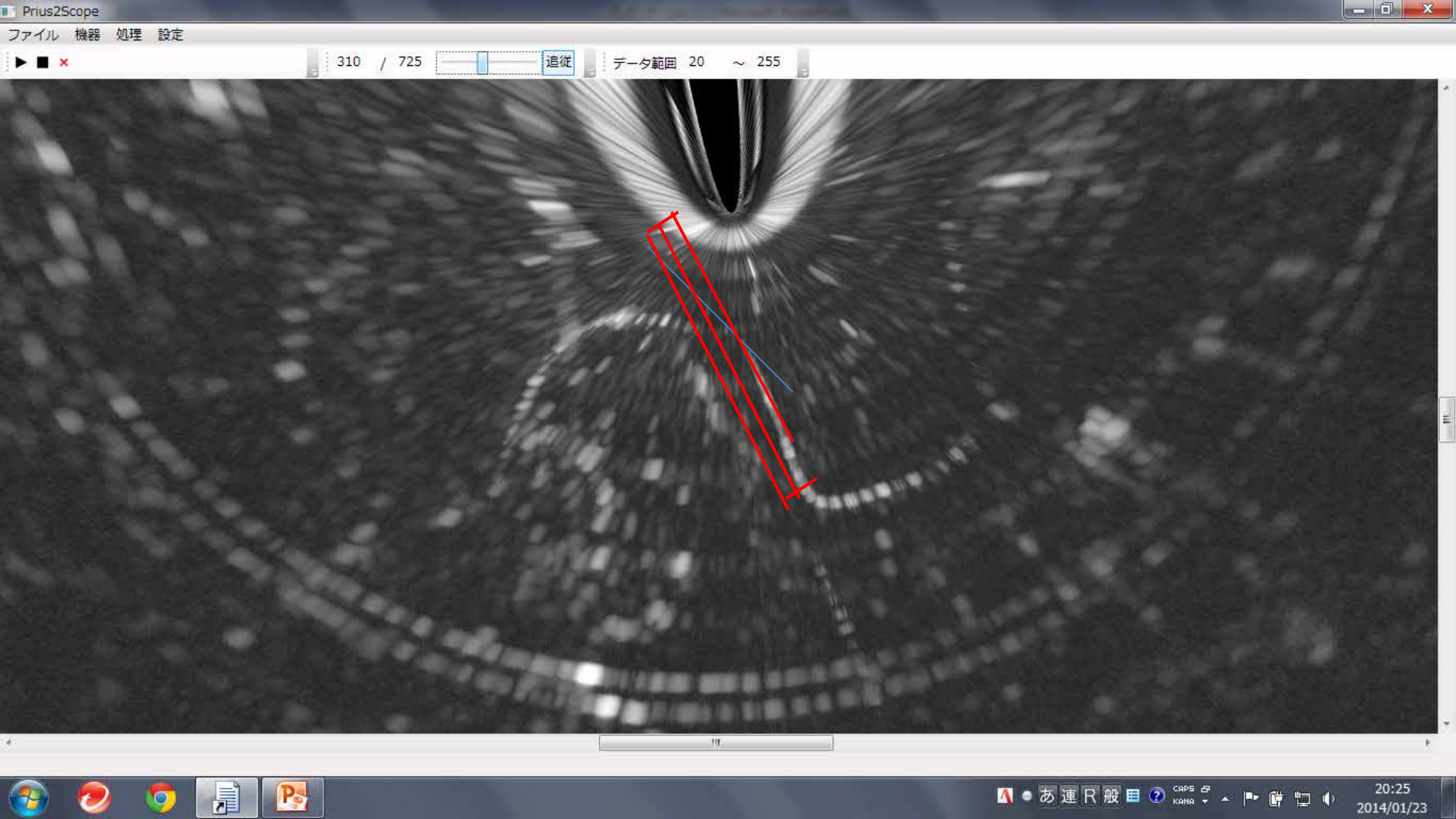
23<sup>th</sup> May 2014 Proprietary

IRT



→付近まで見えた。

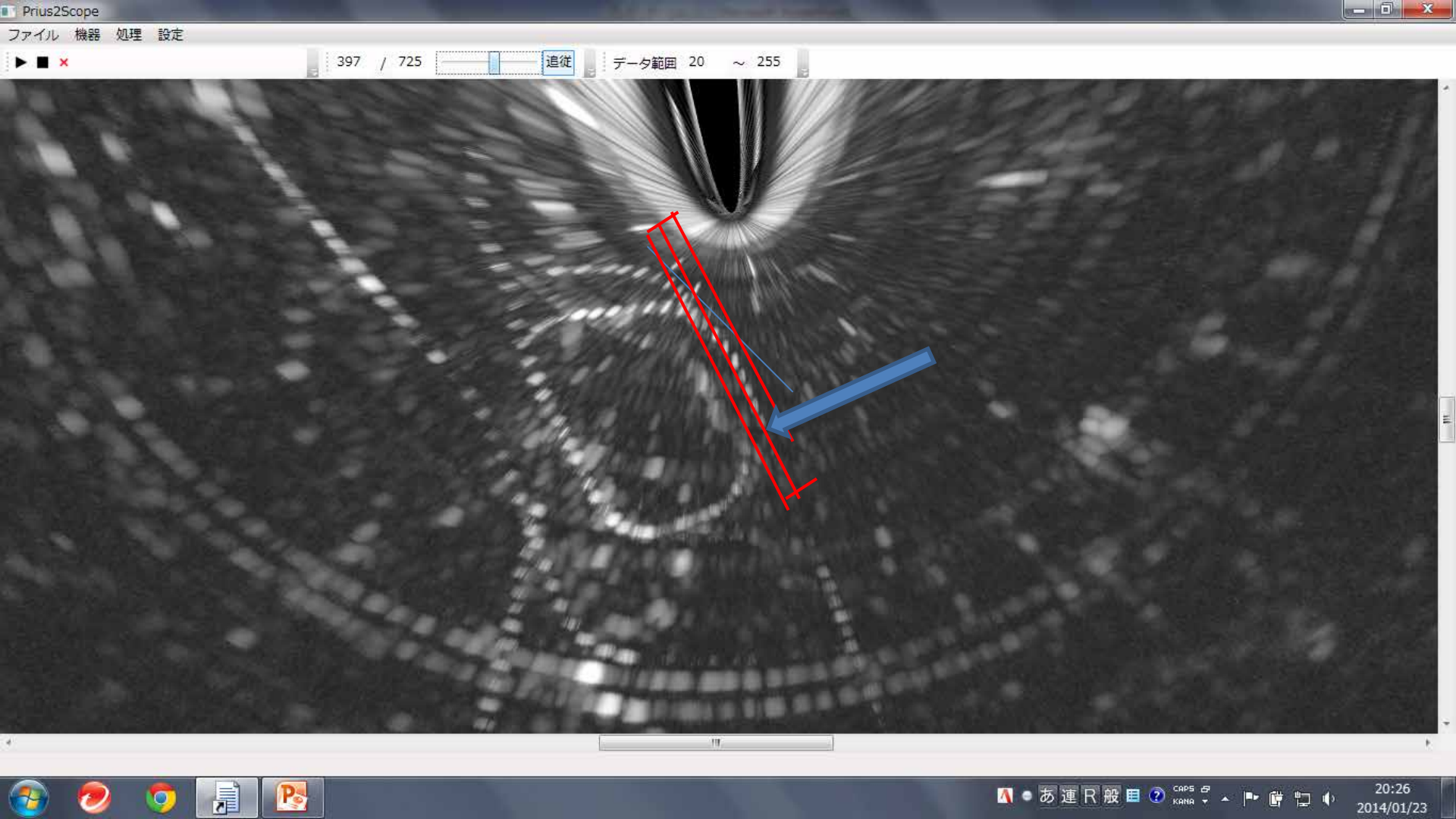




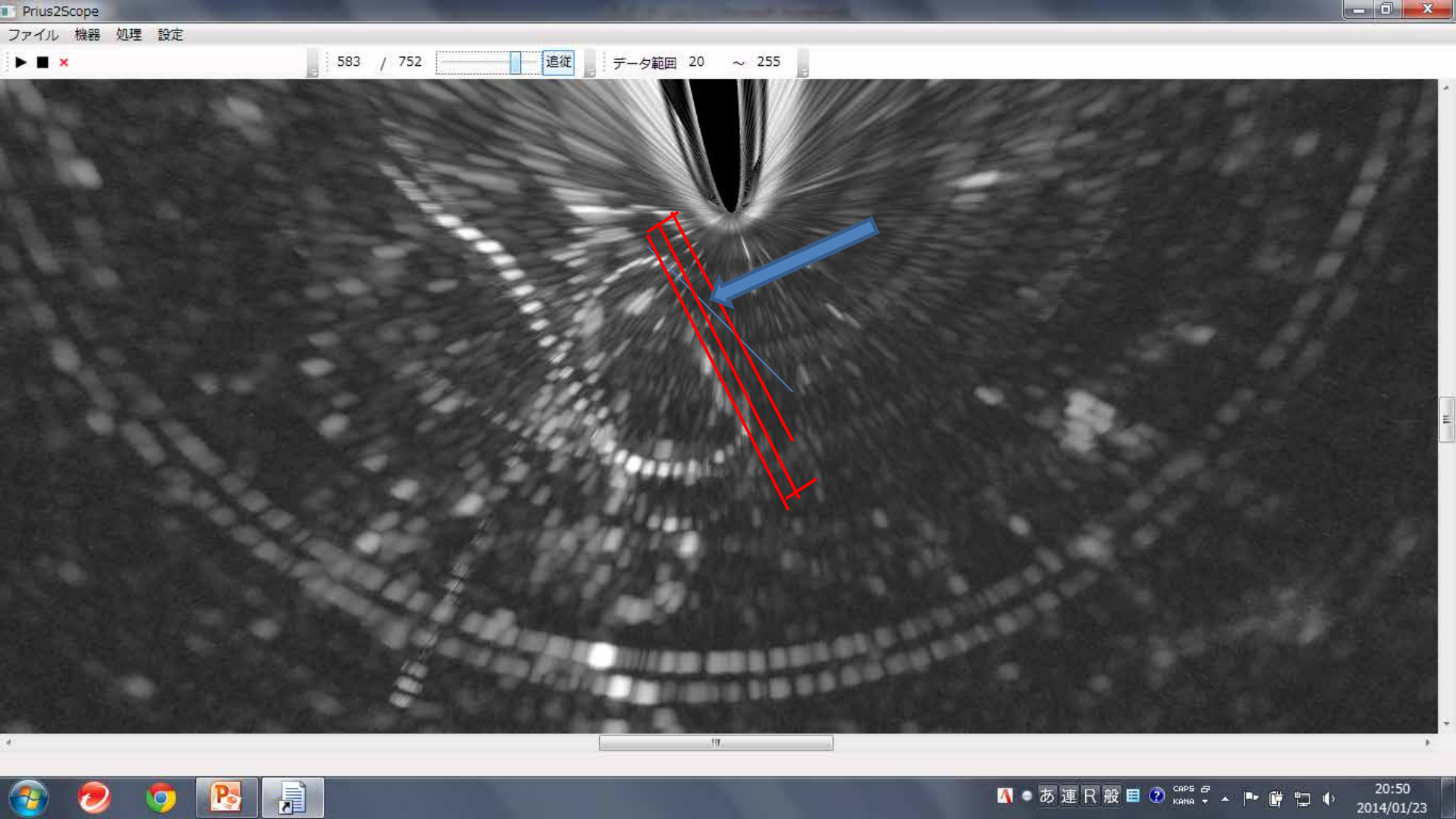
南から着陸機。北西へ離陸機。

23<sup>th</sup> May 2014 Proprietary

IRT

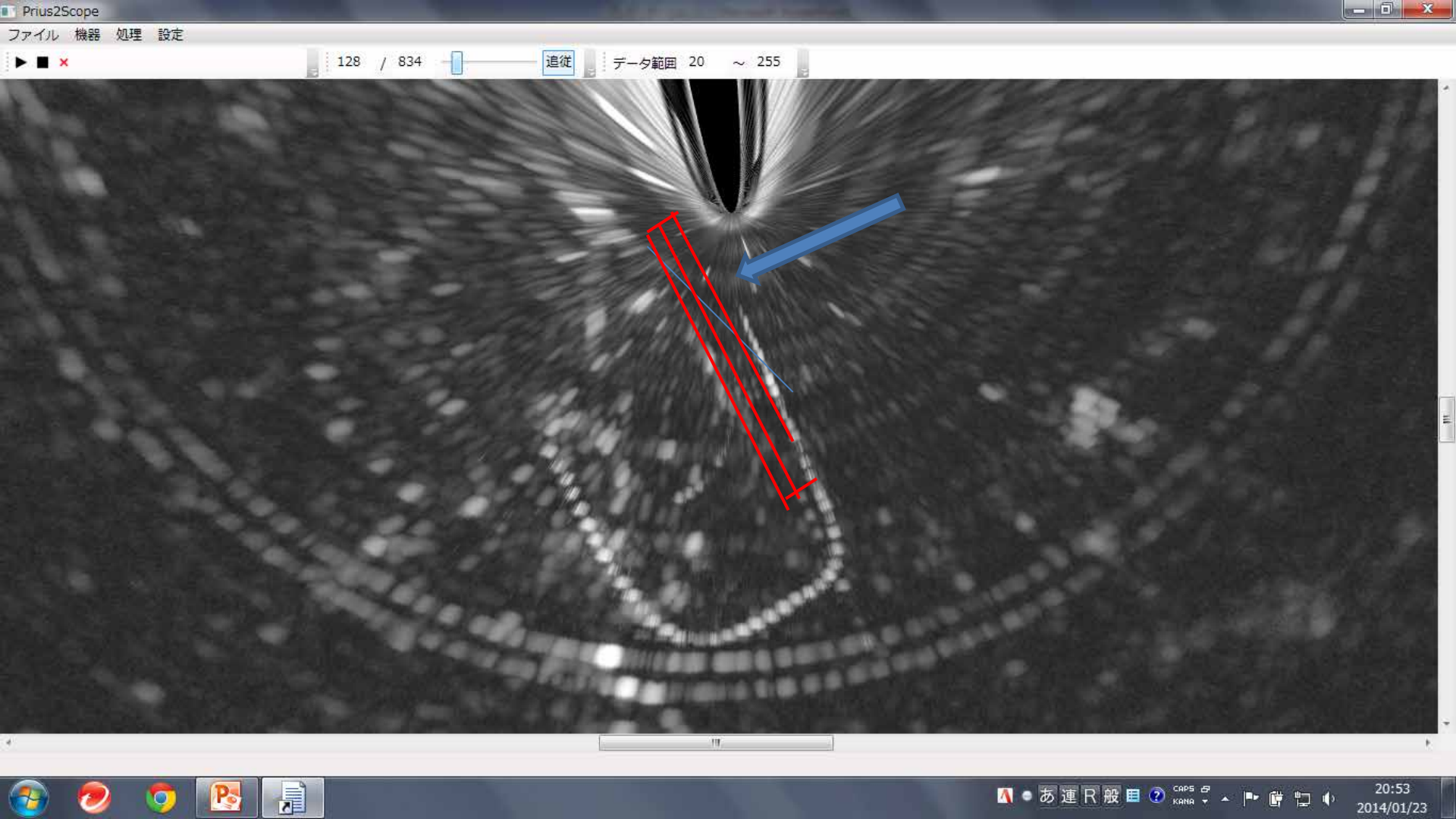


滑走路のかなり手前から見えて(→)、滑走路北端を抜けると2機に分離した。



朝日航洋付近から離陸。

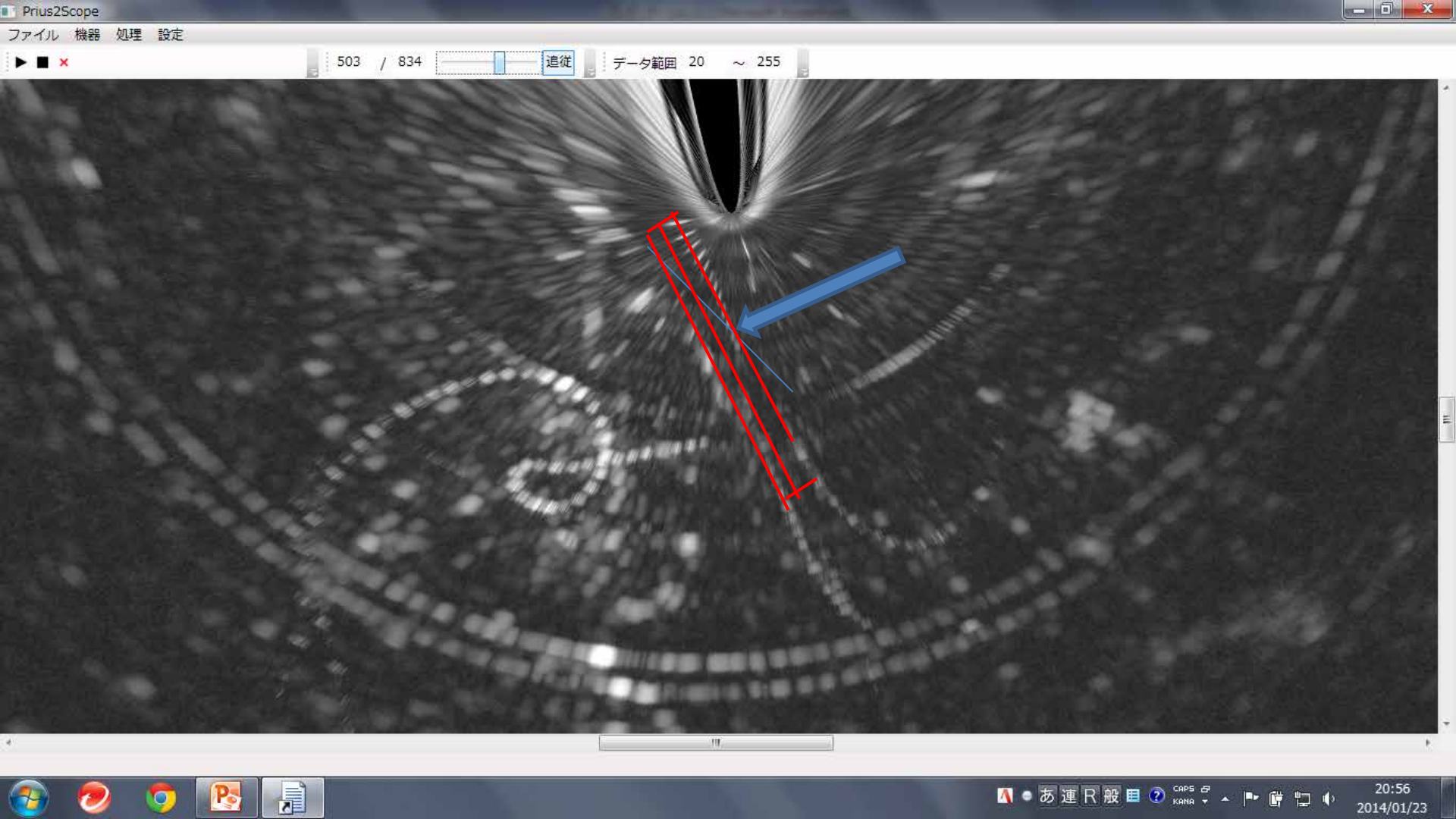




これも間違いなく、滑走路のタキシング。矢印まで見えた。

23<sup>th</sup> May 2014 Proprietary

IRT

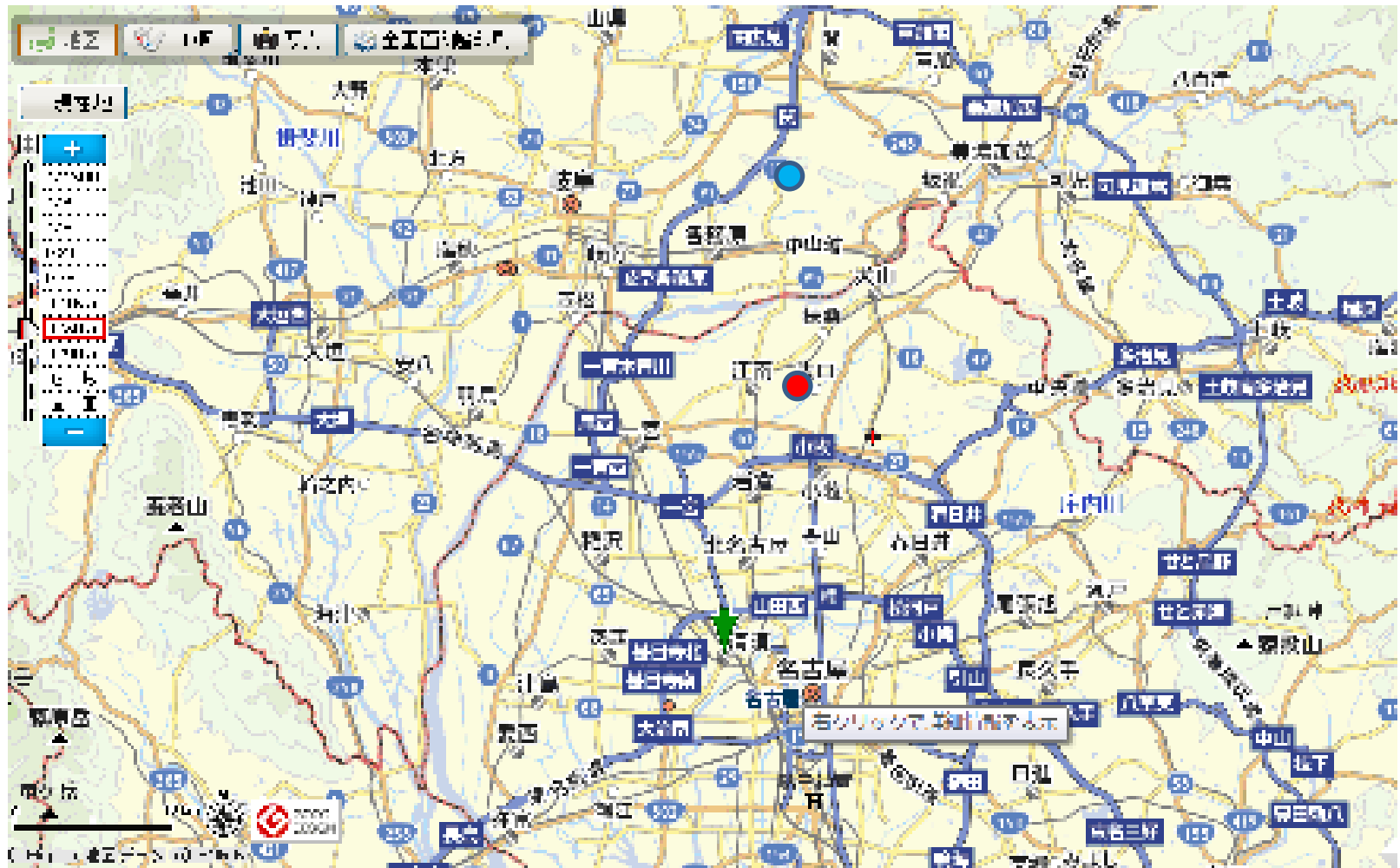


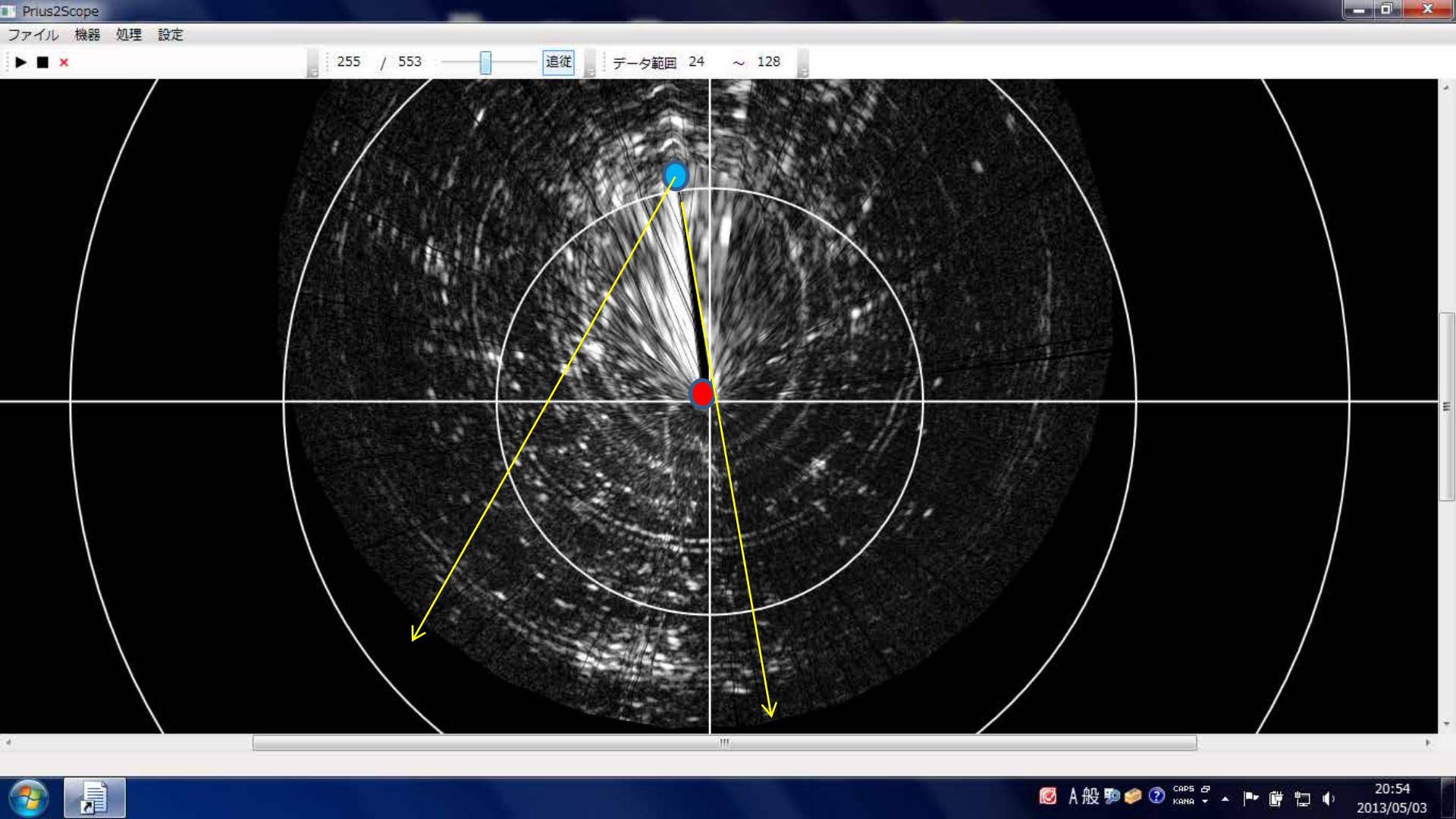
→付近から見えて、北に離陸した。

23<sup>th</sup> May 2014 Proprietary

IRT

# 10. 反射型受動レーダーによる雲の捕捉



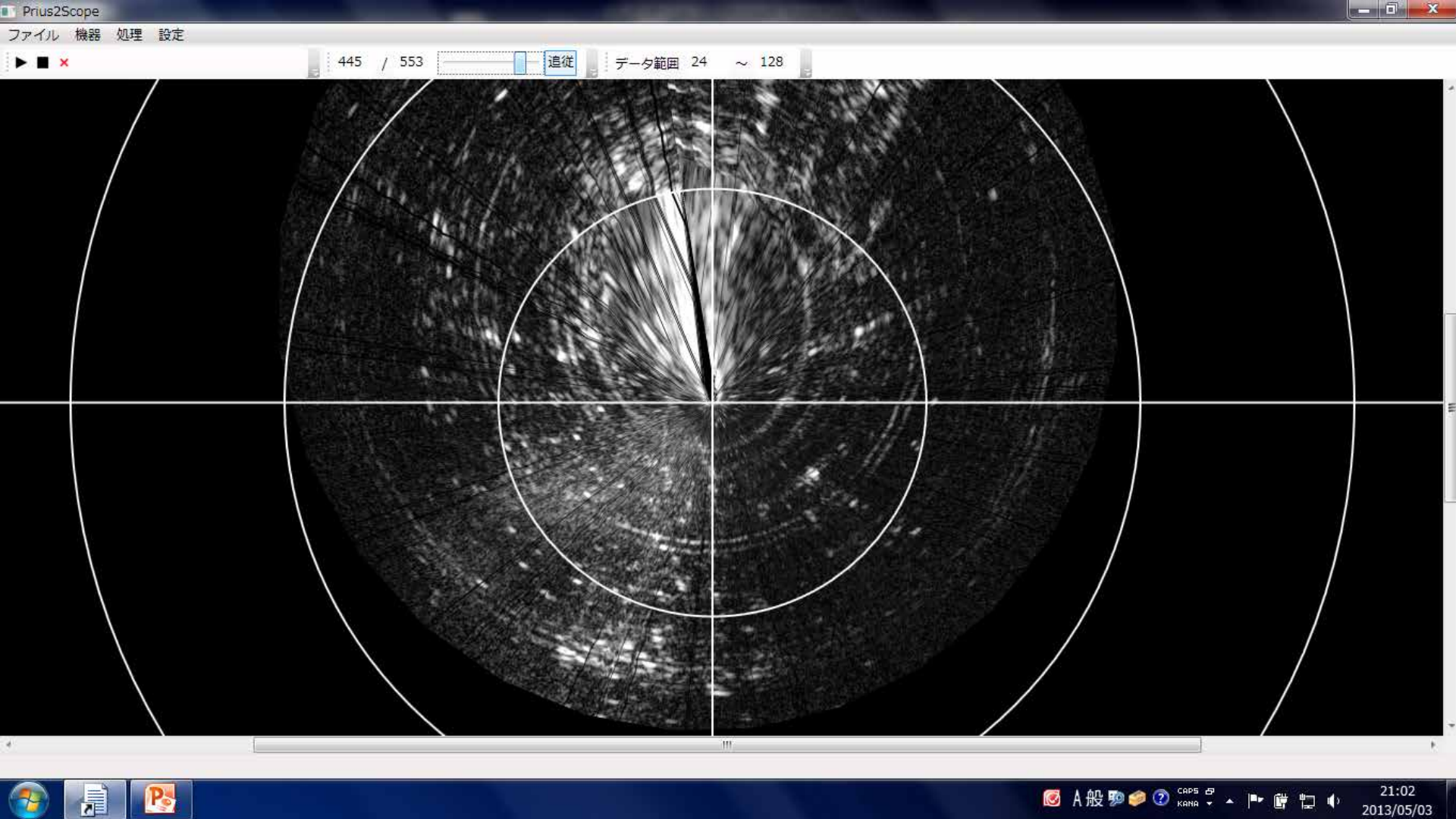


アンテナ指向性角度

23<sup>th</sup> May 2014 Proprietary

IRT



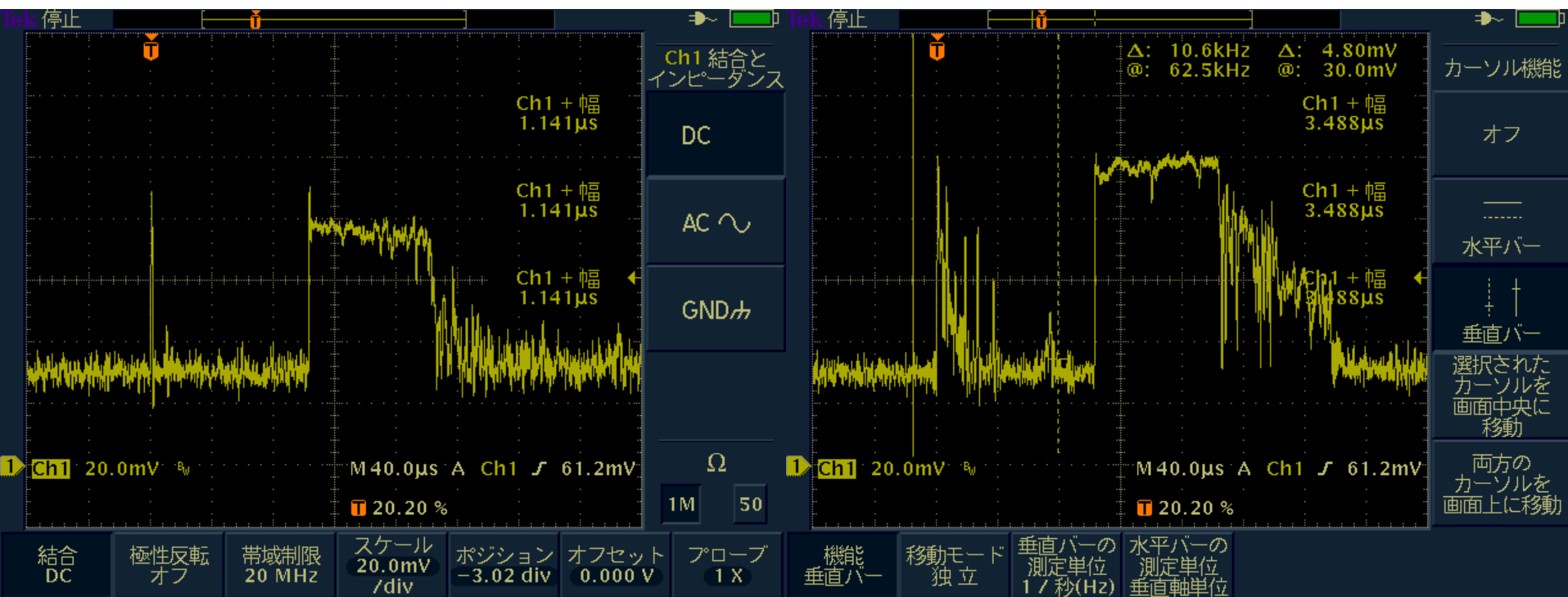


23<sup>th</sup> May 2014 Proprietary

IRT



# 11. 反射型受動レーダーの受信信号の実際



## 12. 反射型受動レーダーの受信実験



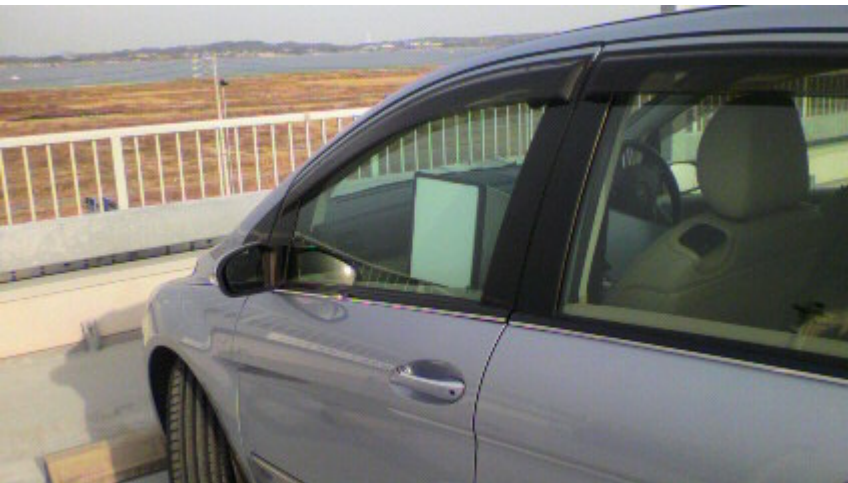
第1 ASR



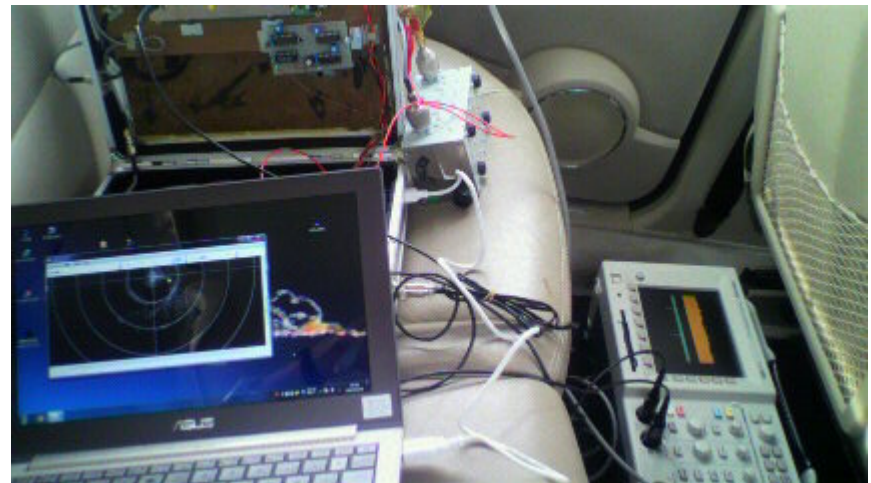
↑ 手前の車の中からこちらに向けてアンテナ配置



↑ 車内のアンテナの様子



↑ 外から見たホーンアンテナ(白いもの)



↑ 車内の実験風景

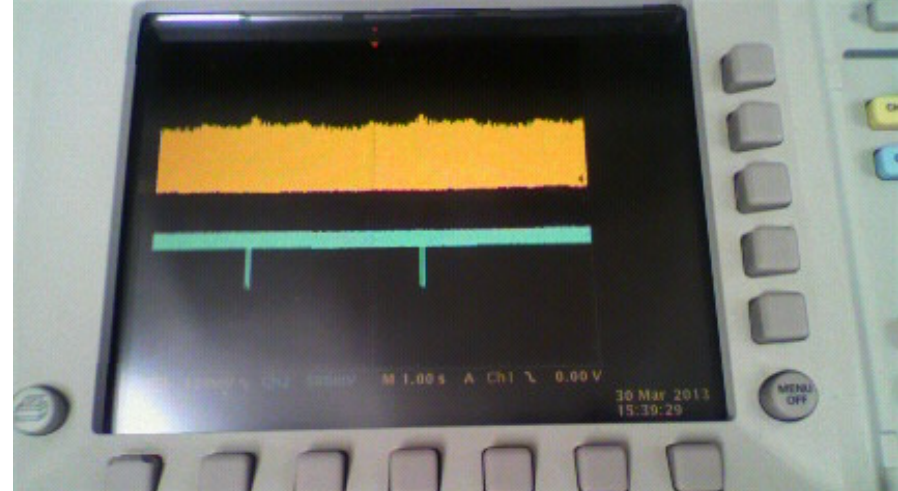
改善型PRIUS-2を用いて、初めてIRT実験室から屋外に出て試験をすることができた。  
今回は、中部空港の下見。中部第1 ASRは、2760MHz 20kWモノパルス。

23<sup>th</sup> May 2014 Proprietary

IRT



↑ アンテナを向けた北側の風景  
(航空機は左手前から奥に向かって  
離陸する)



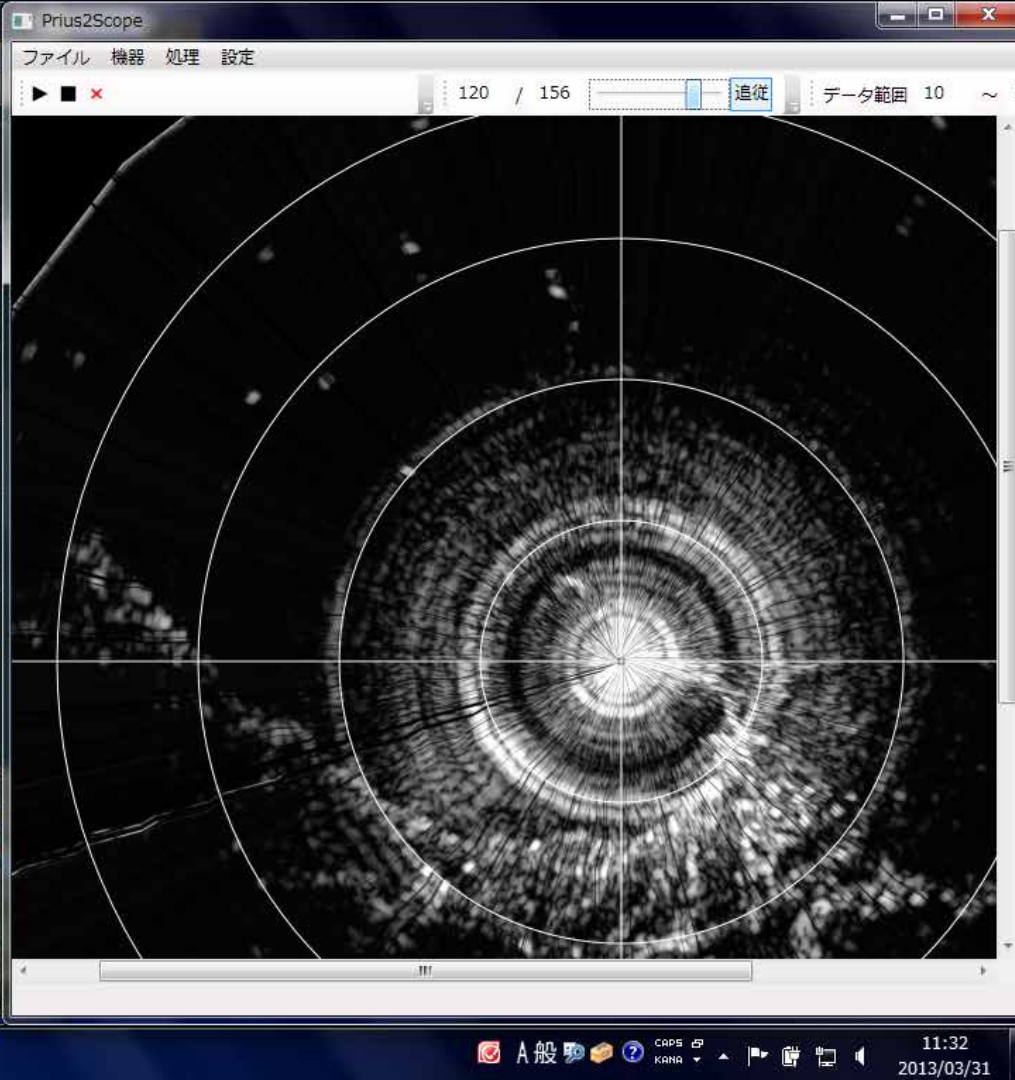
↑ 当初、南側の第1ASRにアンテナを  
向けていたが、完全に飽和してしま  
うので、北側(反対側)に向けなおした。  
上の写真は、その時の4秒周期の  
ASR2760MHz検波波形と、そこから  
かるうじて正対を抜き出した波形(青)

アンテナ配置は、当初、目の前(恐らく500mくらい)にある、第1ASRに向けたが、完全に飽和してしまい、正対が分からなくなったので、反対方向(北向き)にホーンアンテナの向きを変えた。このことによって、南にあるはずのASRが、北側にある、どこからの反射波形をASRとみなして動作したらしく、測定点から北側にASRがある…と、誤認識して、その他は正常に動作した。詳しくは次ページの地図参照。

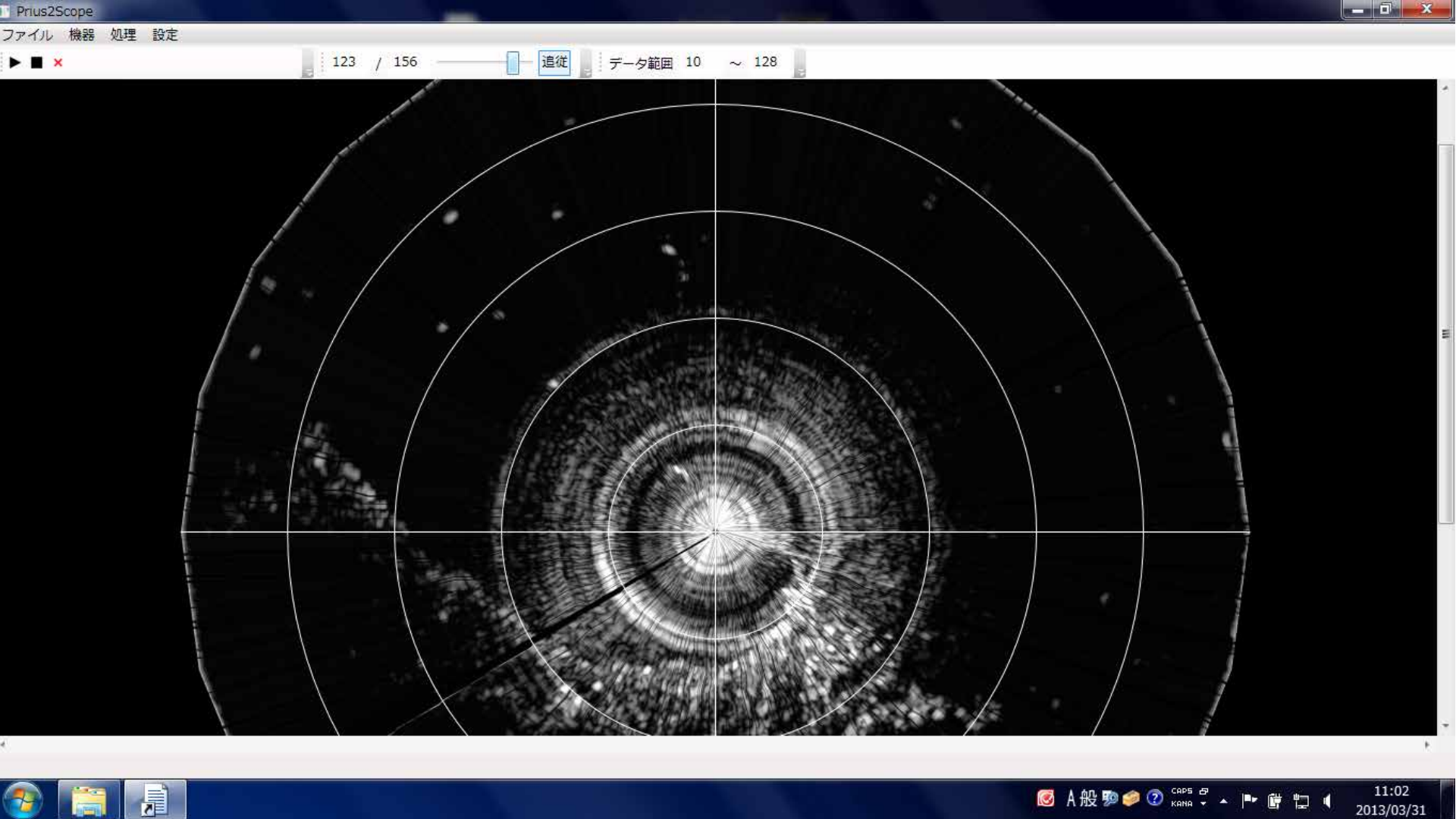




アンテナの配置はおおむね上図の様。測定点は、駐車場棟の一番南側(A)の屋上に設置した。4Fだが、これと同じ棟がHまであるので、北側の低い高度にはおそらく第1ASRの電波は当たっていないものと推察される。(写真はGOOGLEEARTHから借用)

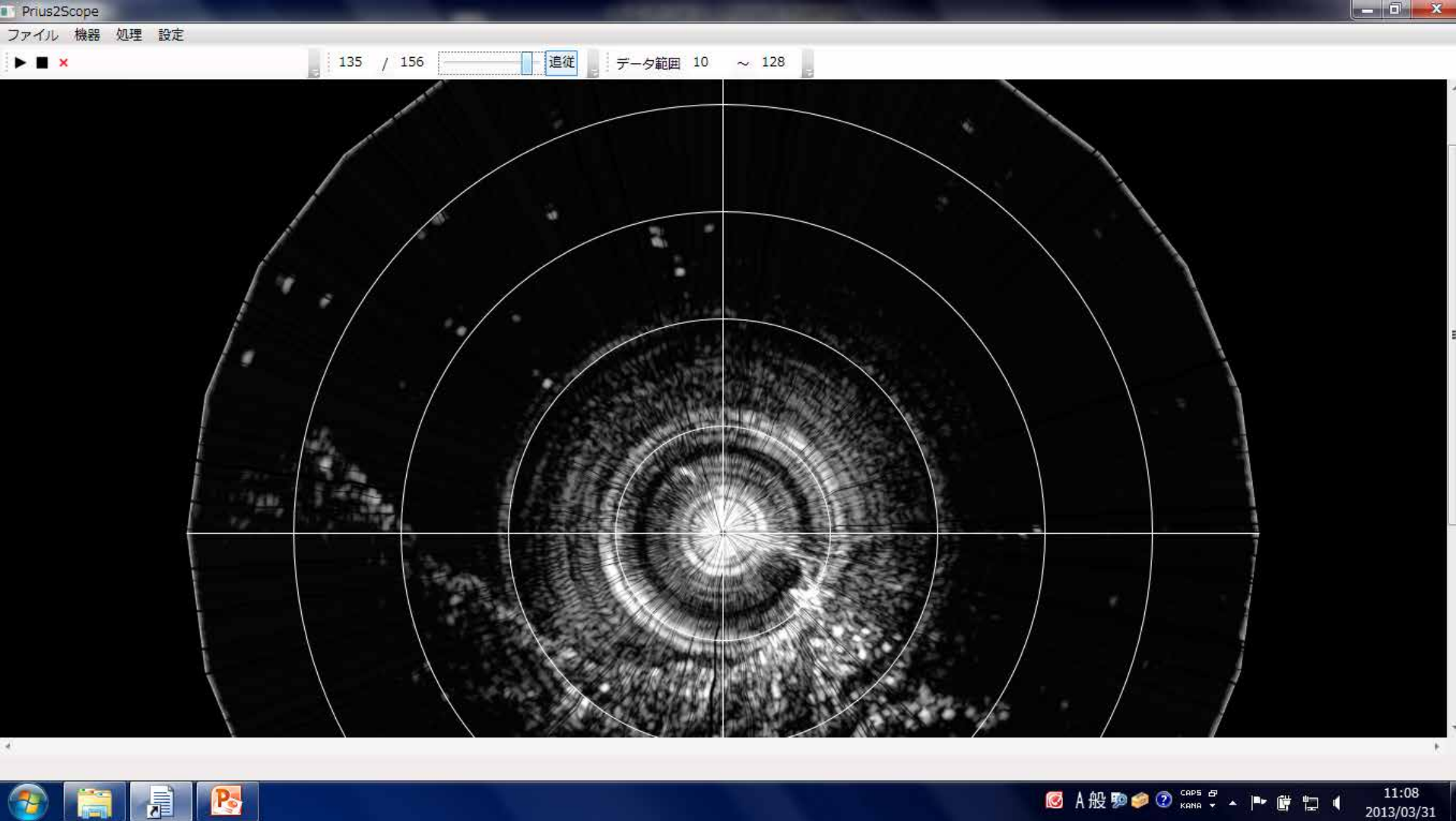


前述のようなアンテナ配置にして、第1ASRからの直接波ではなく、恐らく建物などによる反射波をターゲットASRと見直して設定したが、それでもフロントエンドゲインは、通常から10~15dB下げなくてはならなかった。上は、そういう低感度で、なおかつ北向きにホーンアンテナを向けた時に得られた東南側の海岸線とみられるエコー。

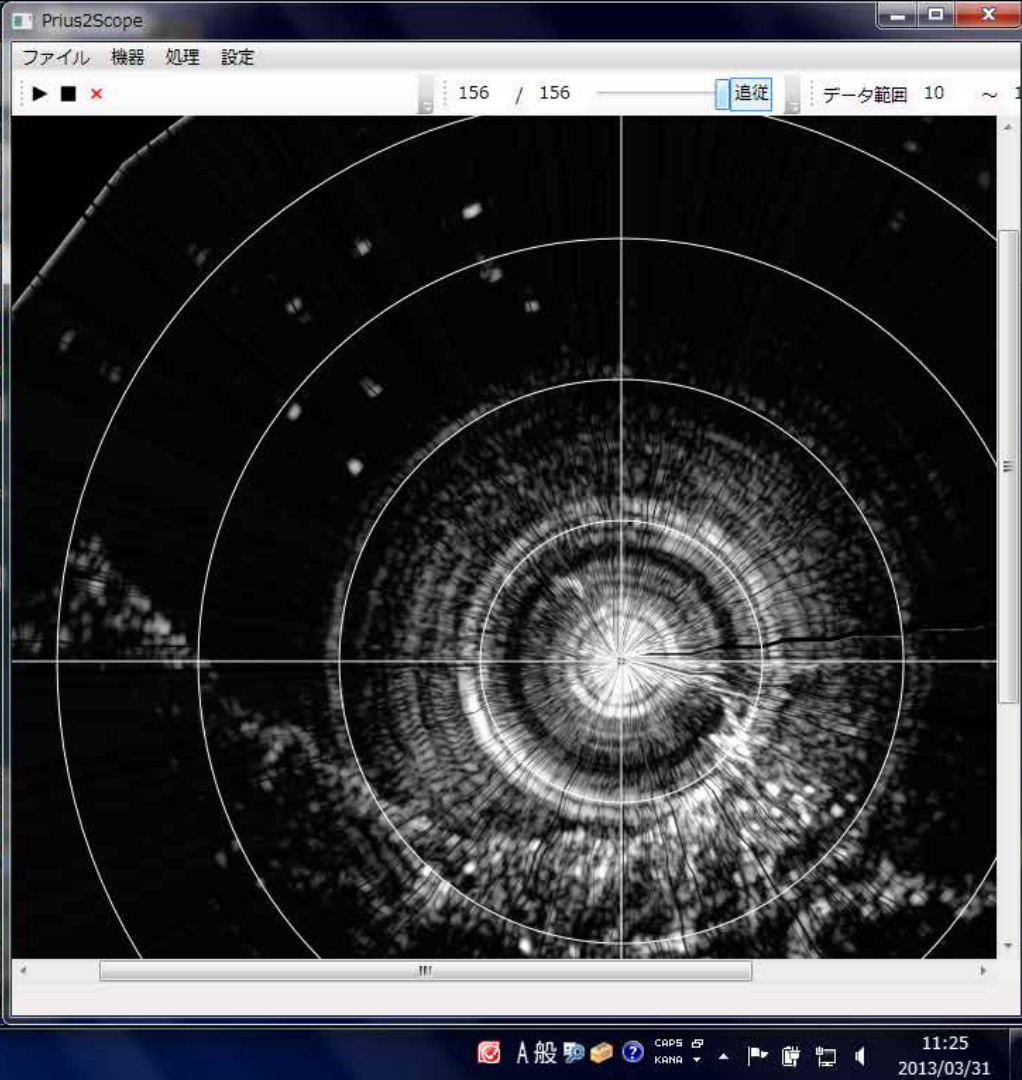
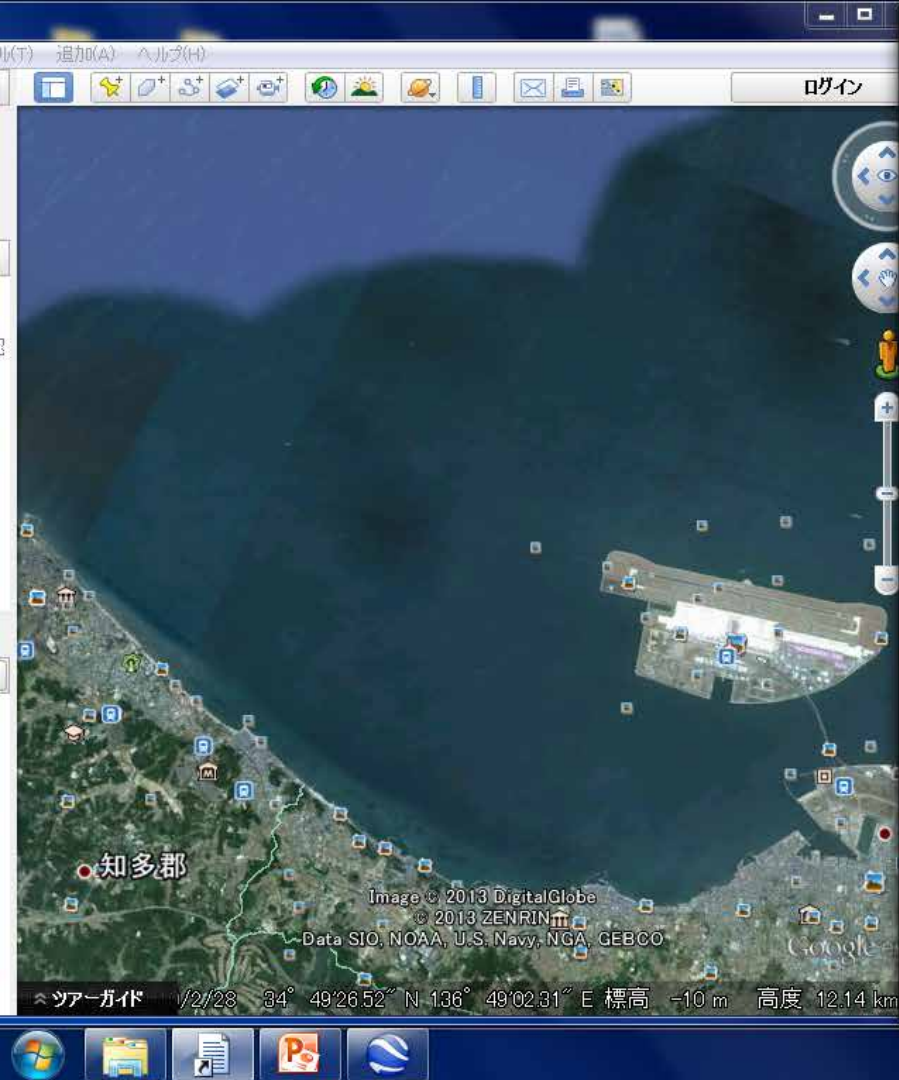


当日は、3時から4時ころまで観測したが、目視で2機しか離陸しなかった。  
(北風なので、北向きに離陸)上は、その時のB737(ANA機)の離陸航跡である。(4秒周期で  
ぱらぱら漫画で見てください。)





北側のバイパス高速道路ブリッジの下から、恐らく高速船と思われる小さな航跡も見られる。



以降は、12秒周期で(間引きして)、海上の船が移動するのが見える。アンテナは北向きで、西側の感度はほとんどないはず。



# 今後の予定と課題

1. 2次レーダー対応型受動型レーダー (PRIUS-1シリーズ)
  - ・ MODE-S 対応
  - ・ ランダムスタガー対応
  - ・ ネットワークインタフェースの拡充
2. 1次レーダー対応型受動型レーダー (PRIUS-2シリーズ)
  - ・ バイスタティックシステムへの適応性確認
  - ・ 感度の向上と安定化
  - ・ FM チャープ対応による、捕捉空域の拡充