



マルチパラメーター・フェーズドアレイ 気象レーダー（MP-PAWR）

～危険をもたらす積乱雲を観測・予兆検知～

TOSHIBA

東芝インフラシステムズ（株）

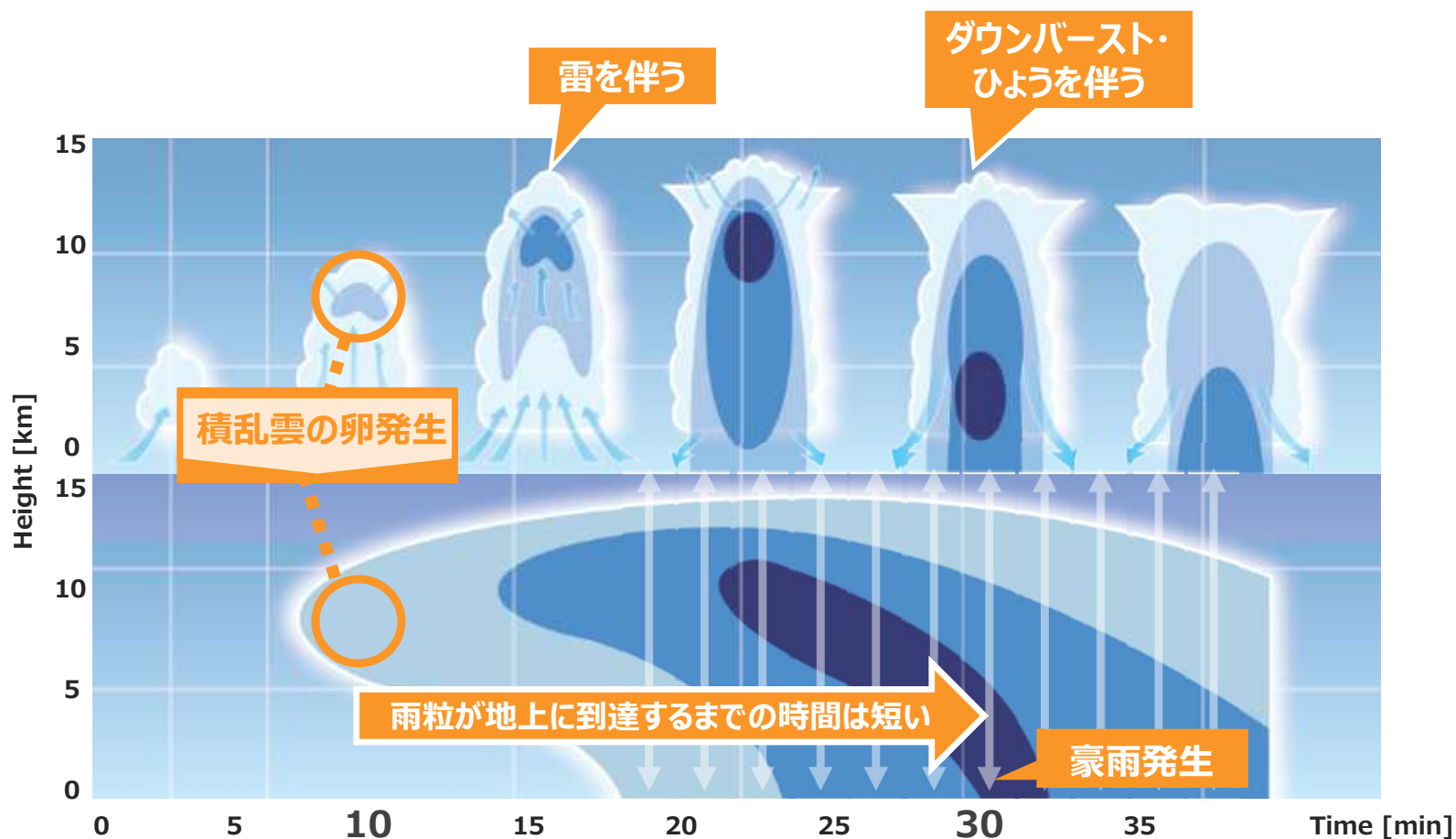
2024/12/11

於：CARATSオープンデータ活用推進フォーラム

機体やグランドハンドリングに危険をもたらす積乱雲

積乱雲の盛衰が速く、高速・高密度・高精度の気象観測が必要

- 積乱雲の一生
 - 単一の積乱雲の寿命は30～60分程度と言われている



Michimoto(1993) (*1)の図をもとに作図

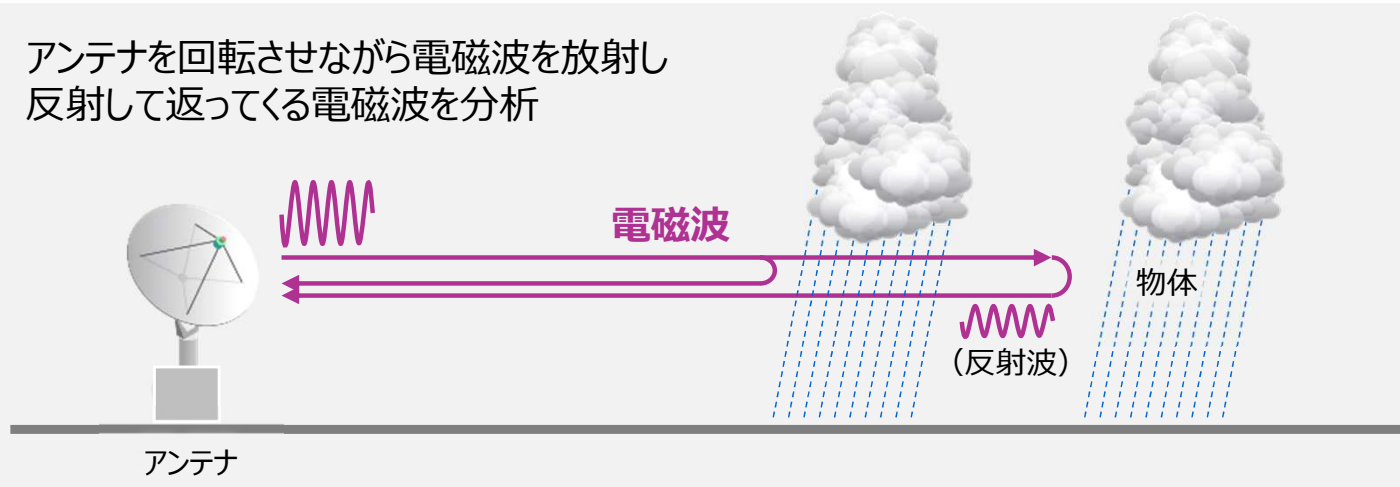
(*1)出典：Michimoto, K., 1993:A study of radar echoes and their relation to lightning discharges of thunder – clouds in Hokuriku District. Part II: Observation and analysis of "single-flash" thunderclouds in mid-winter, J. Meteor. Soc. Japan, 71, 195–204.

気象レーダーとは

電磁波を送受信することで物体の位置や性質を観測

気象レーダーの基本的な原理

アンテナを回転させながら電磁波を放射し
反射して返ってくる電磁波を分析



気象レーダーで観測可能なこと

アンテナの向きと電磁波が返ってくるまでの時間から物体の**位置**を観測
反射波の強さから物体の**性質・大きさ**を観測
アンテナを回転させることで平面的・立体的な雨量データの取得が可能

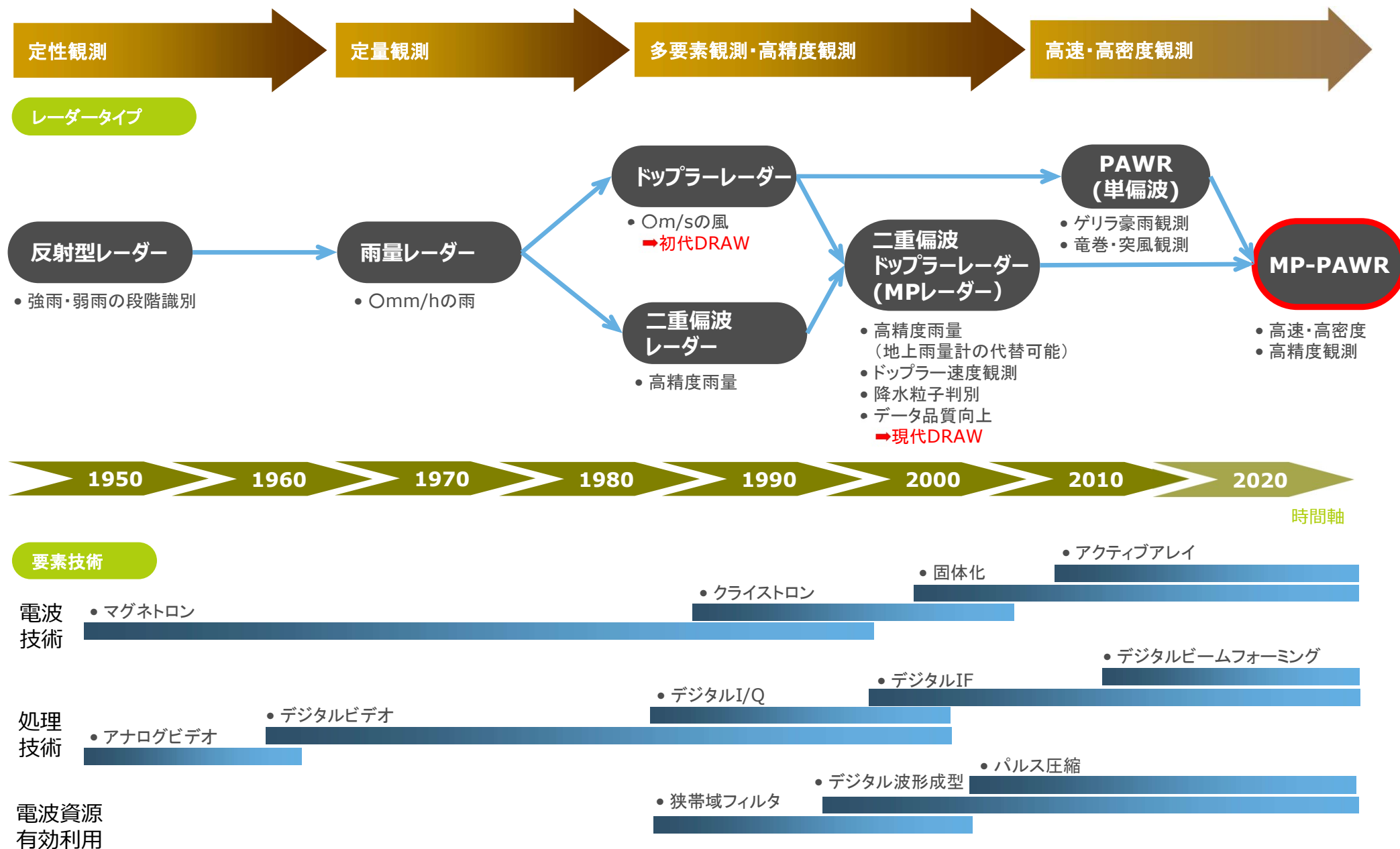


広範囲を面的に観測

全国20台の現業気象レーダー
合成画像

(日本気象協会のWeb画像^(*))

気象レーダーの変遷



マルチパラメーター・フェーズドアレイ気象レーダー (MP-PAWR)

二重偏波観測機能を持ったフェーズドアレイ型気象レーダー



Multi-Parameter
Weather Radar

Since 2007
@名古屋大学

高精度



Multi-Parameter Phased Array
Weather Radar

Since 2017@埼玉大学/内閣府SIP



Phased Array
Weather Radar

Since 2012
@大阪大学/NICT

高速・高密

主な仕様の比較

MP-PAWRはパラボラの高精度観測を維持しつつ、高速高密度観測を実施

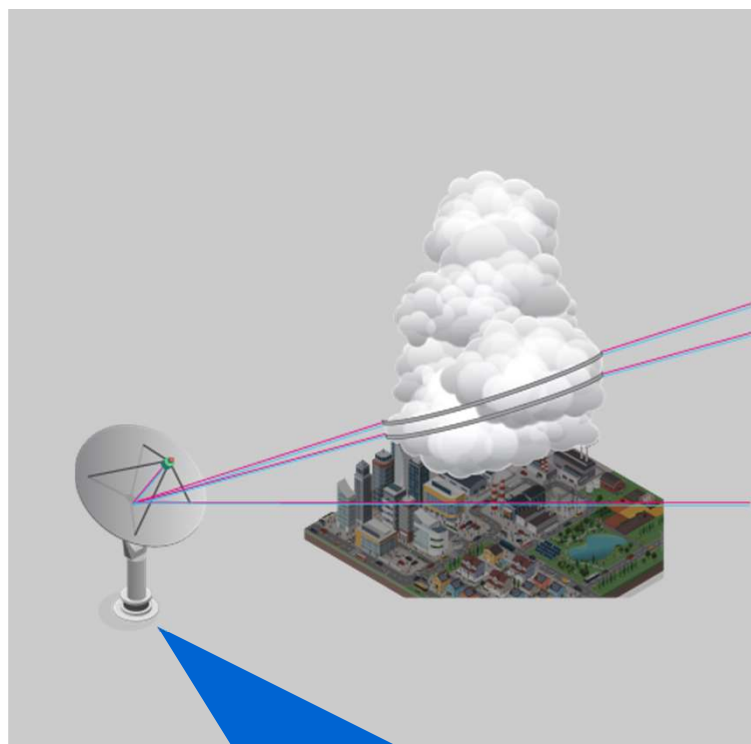


	パラボラMPLレーダー	単偏波PAWR	MP-PAWR
偏波	二重偏波（高精度）	単偏波	二重偏波（高精度）
走査方法	方位：機械走査 仰角：機械走査	方位：機械走査 仰角：電子走査	方位：機械走査 仰角：電子走査
観測空間 （仰角数）	3次元スキャン （15仰角）	3次元スキャン （約100仰角）	3次元スキャン （約100仰角）
観測周期	5分（地上は1分）	30秒	1分 （30秒対応可能）
観測距離	80km	60km	80km

MP-PAWRによる高速・高密度観測

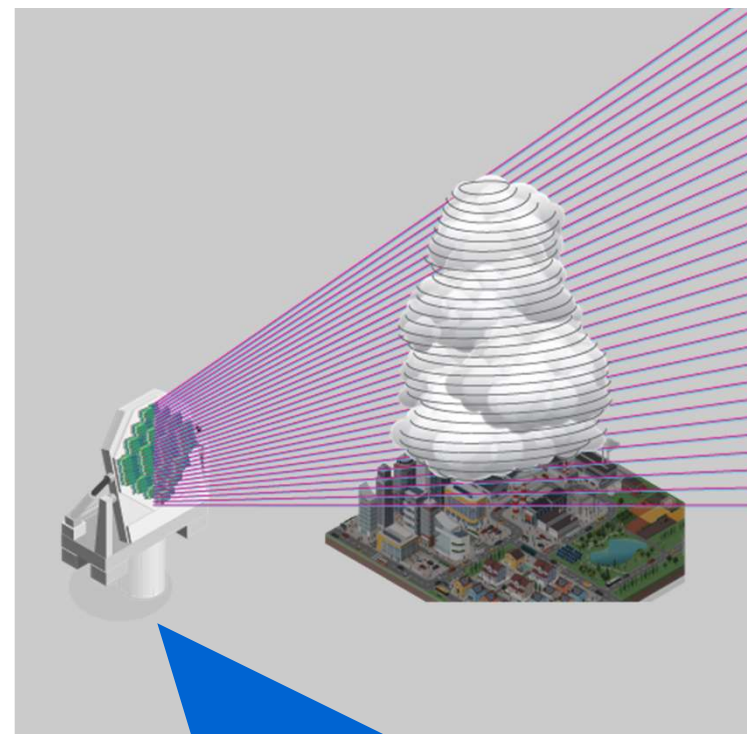
MP-PAWRは低層から高層まで仰角方向広範囲にほぼ同時に観測可能

Multi-Parameter Weather Radar
(パラボラ型気象レーダー)



1分間に3回転、3仰角を観測

Multi-Parameter Phased Array Weather Radar
(MP-PAWR)



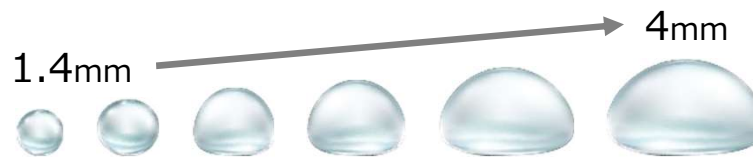
30秒から1分間に1回転
70-100仰角以上を観測

MP-PAWRによる高精度観測

パラボラMレーダーの二重偏波機能を踏襲し、高精度な雨量観測や粒子判別を実施

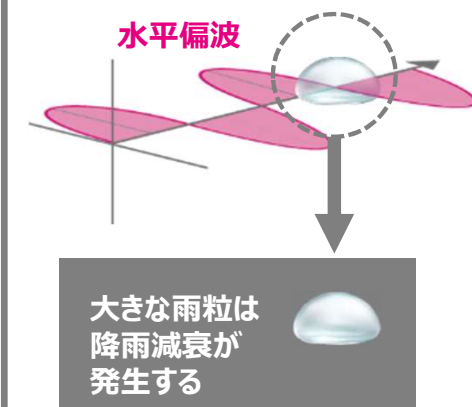
雨粒の形状

氷の粒や小さな雨粒は
落下時も球状を保つ



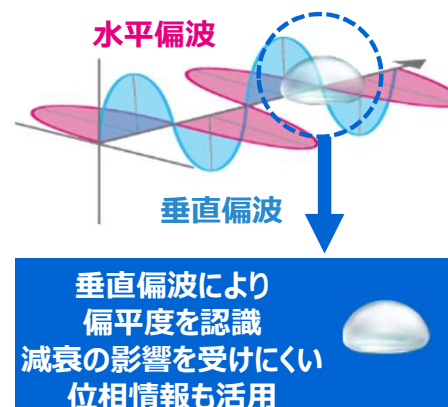
大きな雨粒は空気抵抗で偏平になる

単偏波



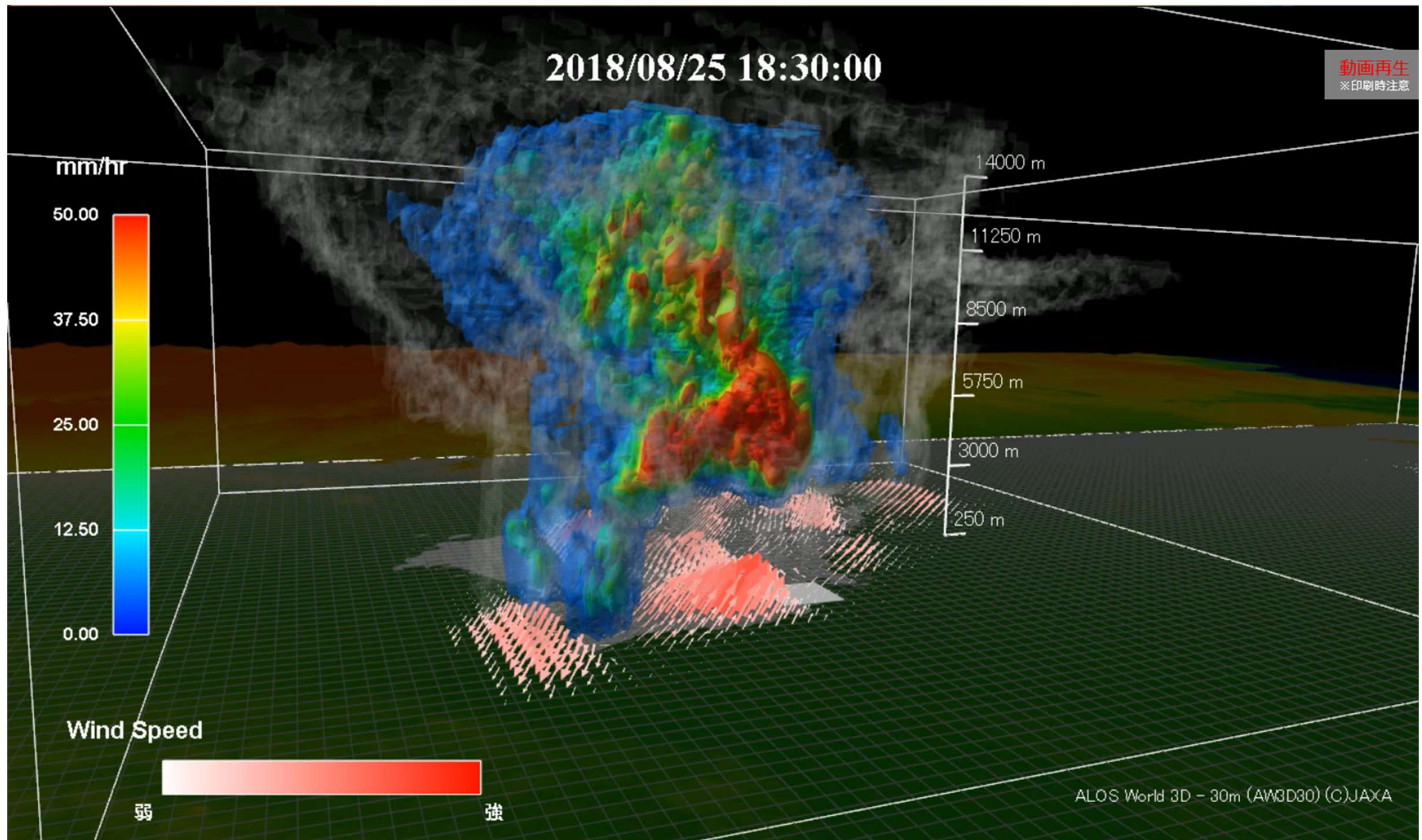
強い雨の後ろ側の雨量を
少なく見積もってしまう(*1)

二重偏波 (Multi-Parameter)



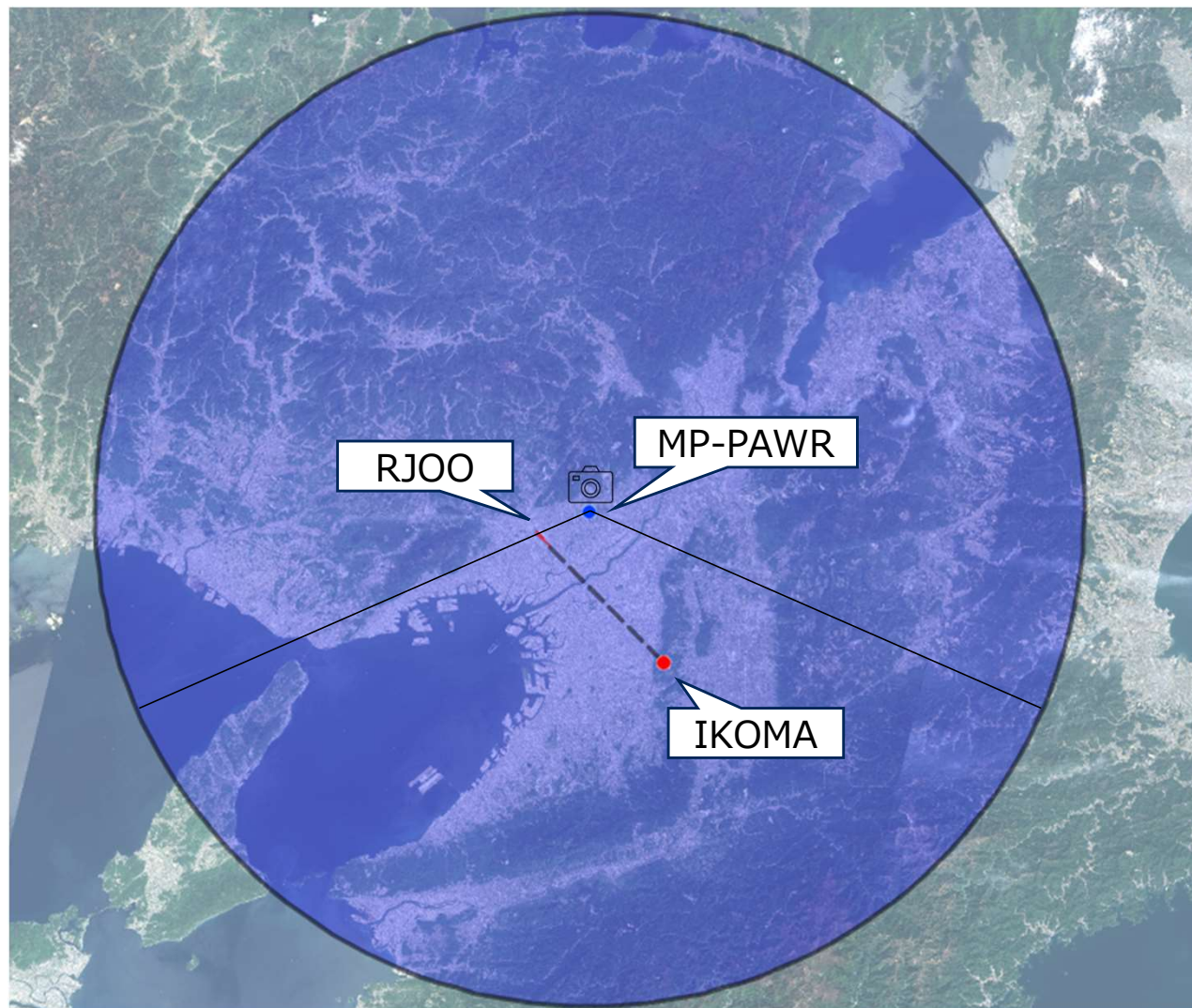
正確な雨量計測が可能(*1)

豪雨・突風発生 of 三次元観測データ



積乱雲付近を航空機が通過しているとみられる事例

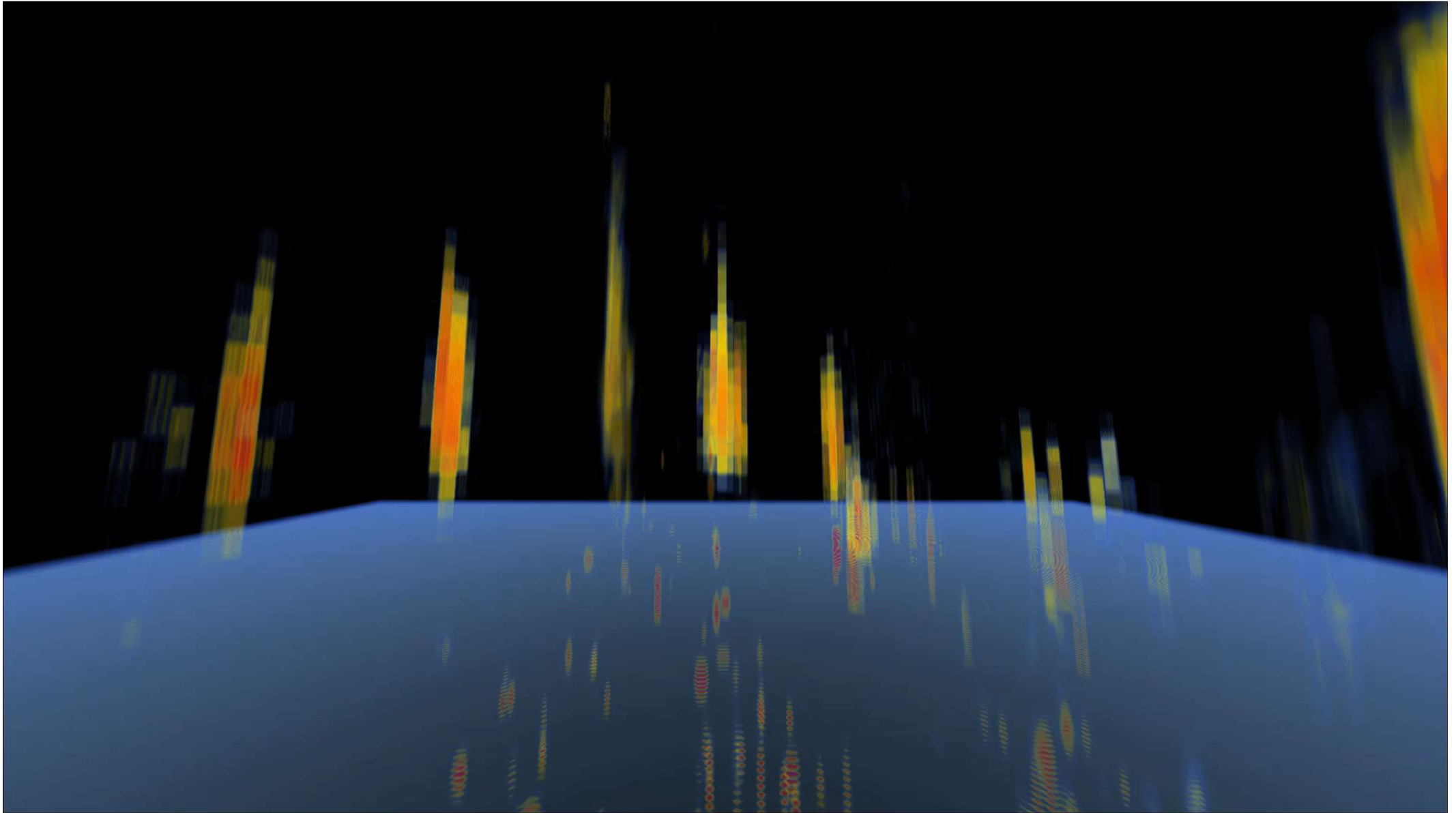
- 通常の気象レーダーでは航空機をクラッタとみなし除去しているが、あえて除去せずに航空機を積乱雲と重畳して表示した。



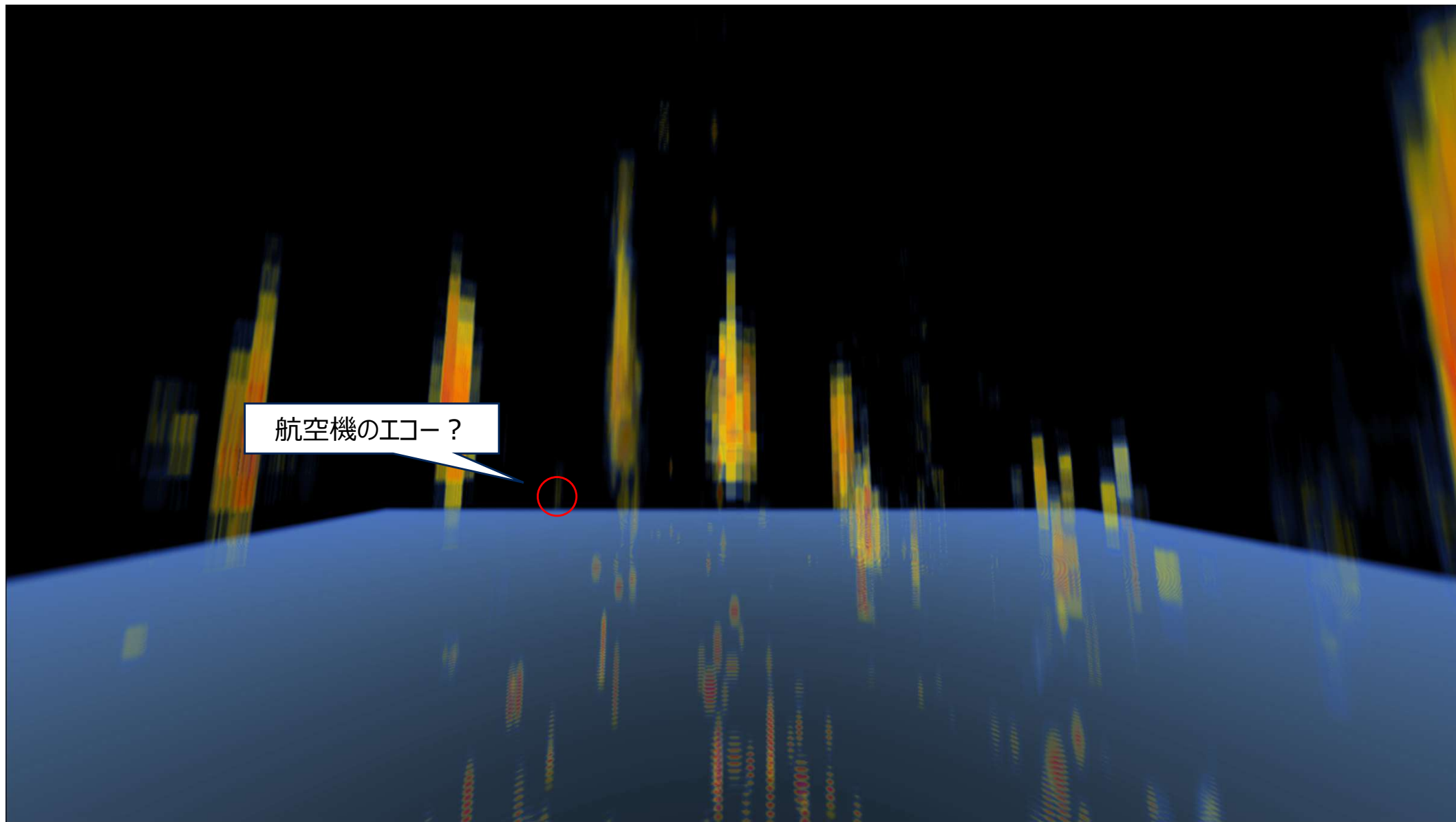
地理院地図(*1)に説明を追記

積乱雲付近を航空機が通過しているとみられる事例

- 2024/8/6 13:00:00～13:10:00 30秒おきの動画

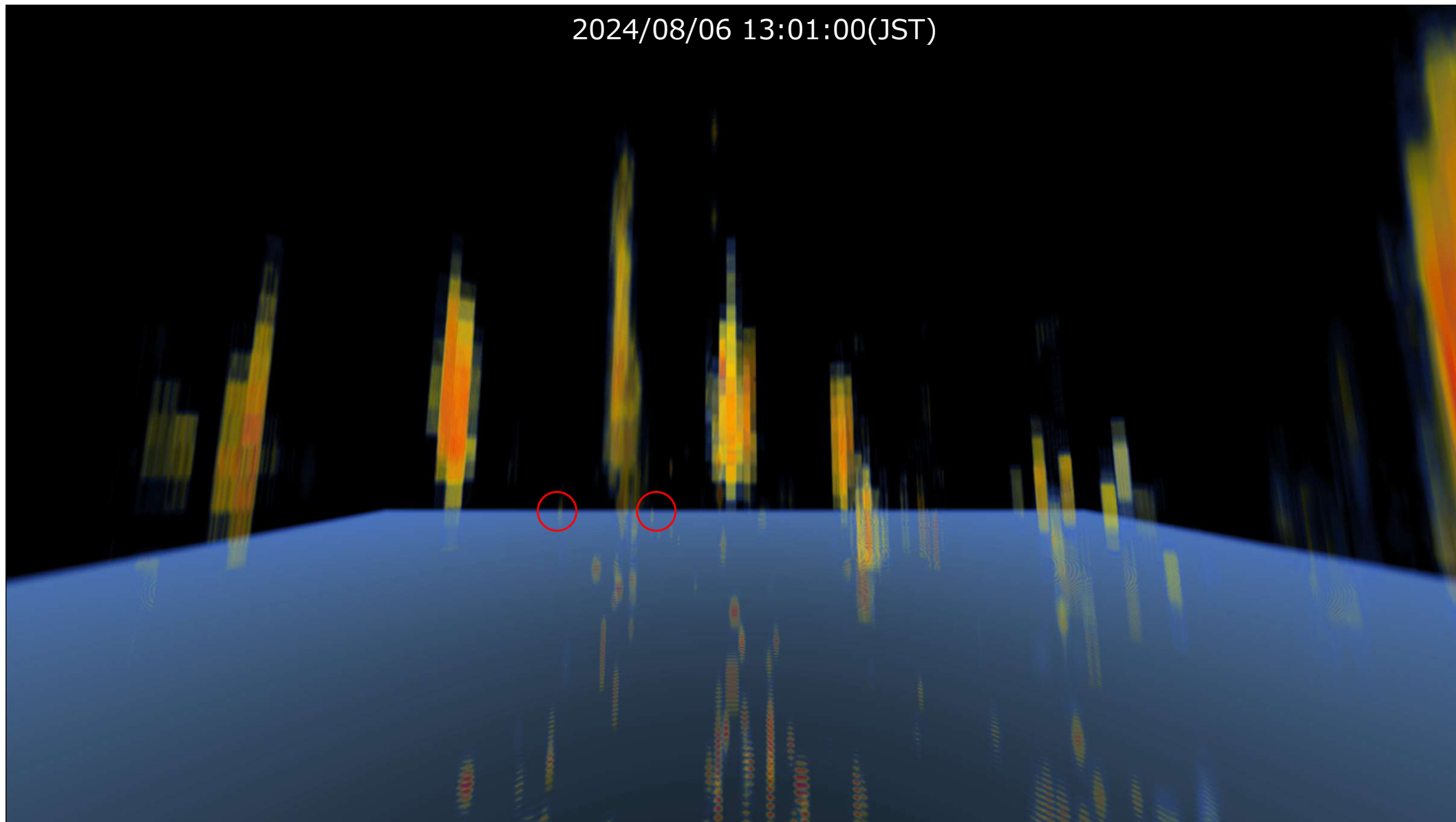


積乱雲付近を航空機が通過しているとみられる事例



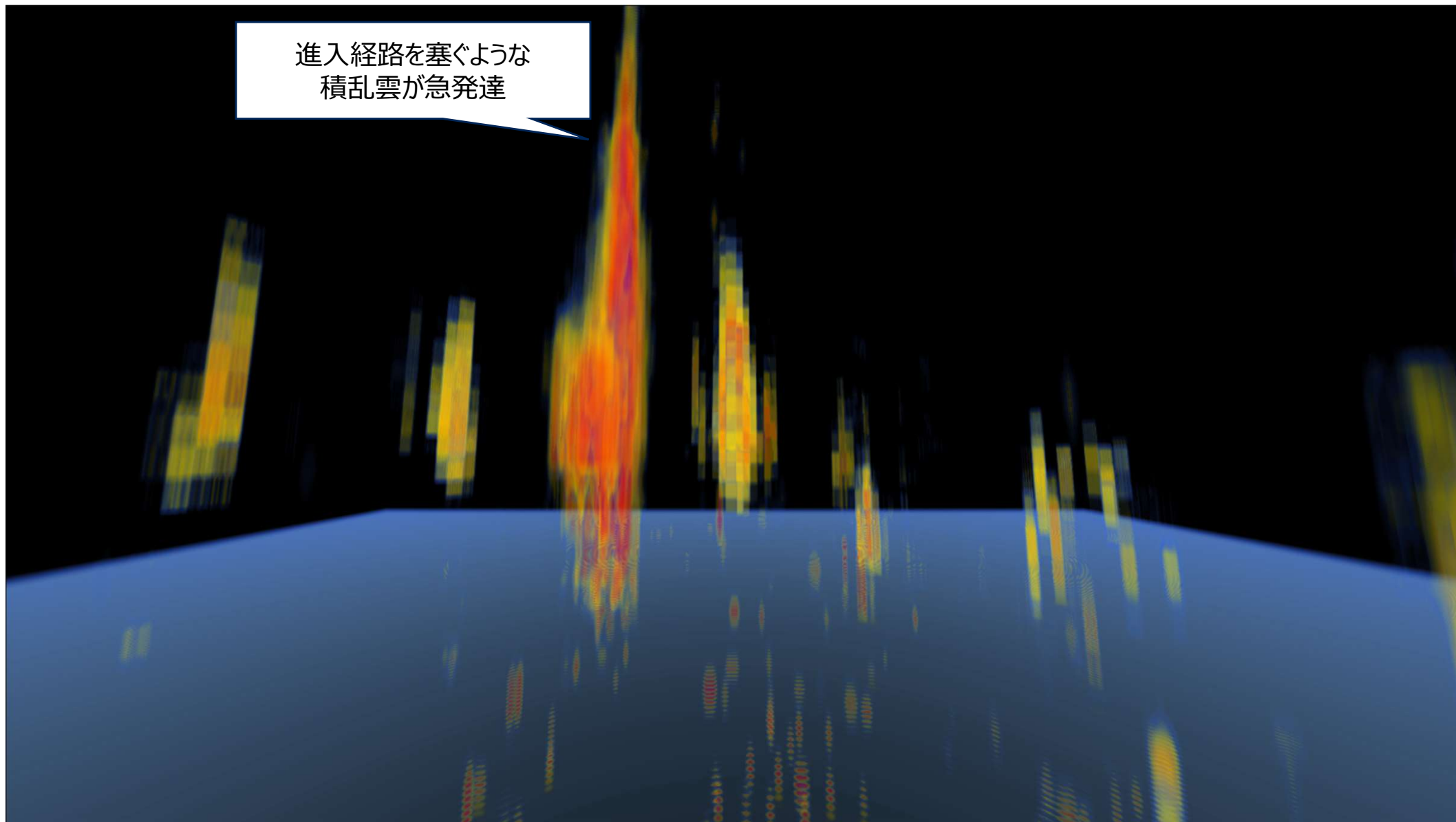
積乱雲付近を航空機が通過しているとみられる事例

2024/08/06 13:01:00(JST)



積乱雲付近を航空機が通過しているとみられる事例

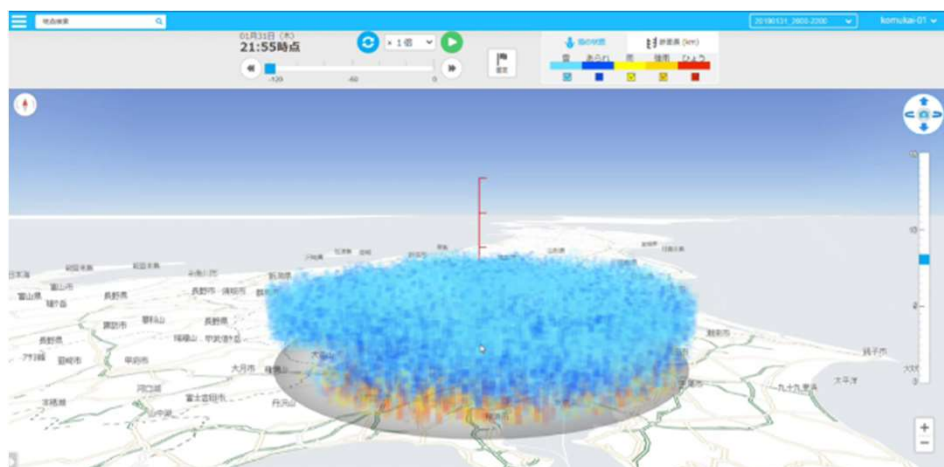
進入経路を塞ぐような
積乱雲が急発達



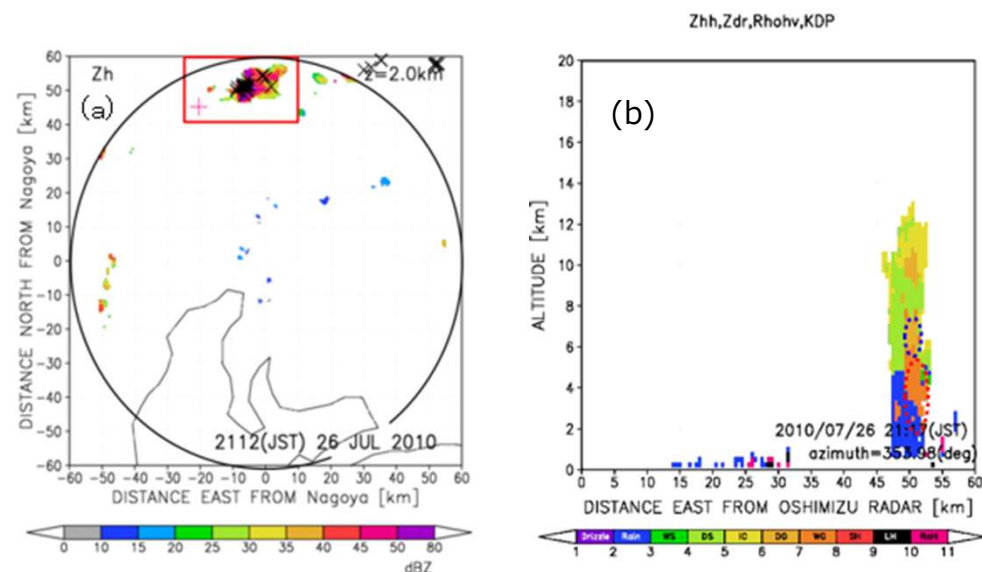
マルチパラメーター観測による降水粒子判別

MP-PAWRでは3次元立体的な粒子判別が可能である。

- 雨・乾雪・湿雪・あられ・ひょう・氷晶など11種類の判定可能
- 雷検出や降雪、降ひょう検出へ応用できる可能性がある。



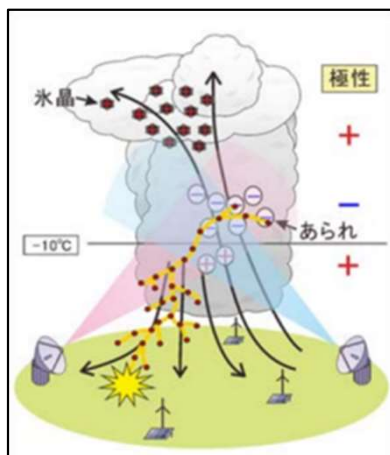
MP-PAWRによる粒子判別結果



2010年7月26日観測結果：(a)PPI によるZhとLLSの雷判定(b)粒子判別結果
濡れ霰（赤丸）と乾霰（青丸）の分離が起きた時間帯に雷が観測されている。

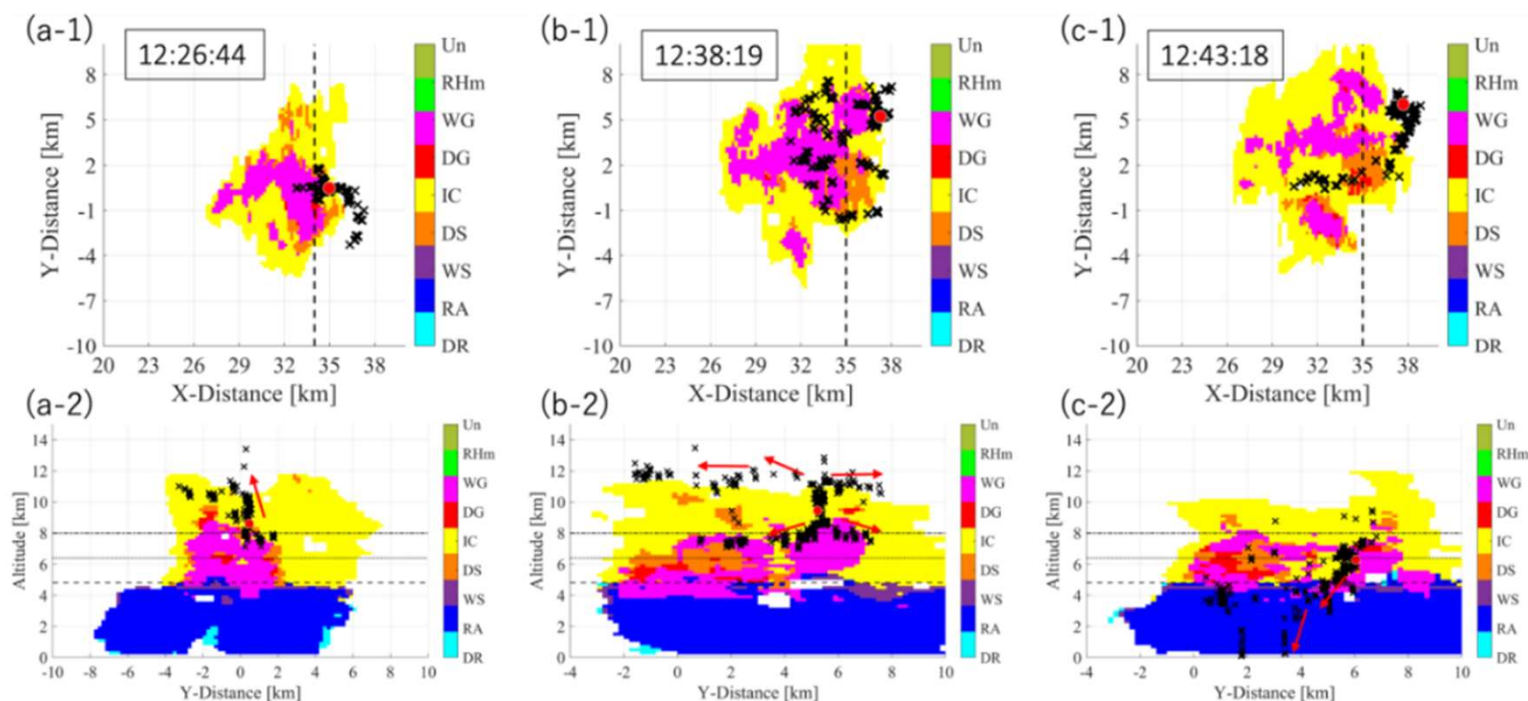
雷放電と粒子判別結果の関係

- 埼玉大学に設置されたMP-PAWRの観測データを用いた粒子判別結果と雷の放電経路を比較した研究を行っている。
- 当該研究結果からはあられ分布域の最上部、氷晶との境界から放電を開始していることが分かる。



雷雲の概念図 (*1)

積乱雲内にてあられと氷晶がこすれた後に軽い氷晶が上昇気流に流されて上空へ行くことで電荷分離が発生する。



積乱雲内の粒子判別結果(*2)

(*1)出典：共同発表：国内初・雷放電経路3次元観測システムによる雷の試験観測を首都圏で開始～6/16茨城と8/19世田谷での顕著な観測結果を公開～ | 防災科学技術研究所、科学技術振興機構
<https://www.jst.go.jp/pr/announce/20171019-3/besshi.html>

(*2)出典：鹿倉周太郎, 菊池博史, 芳原容英, 吉川英一, 中村佳敬, 森本健志, & 牛尾知雄. (2023). 気象用二重フェー

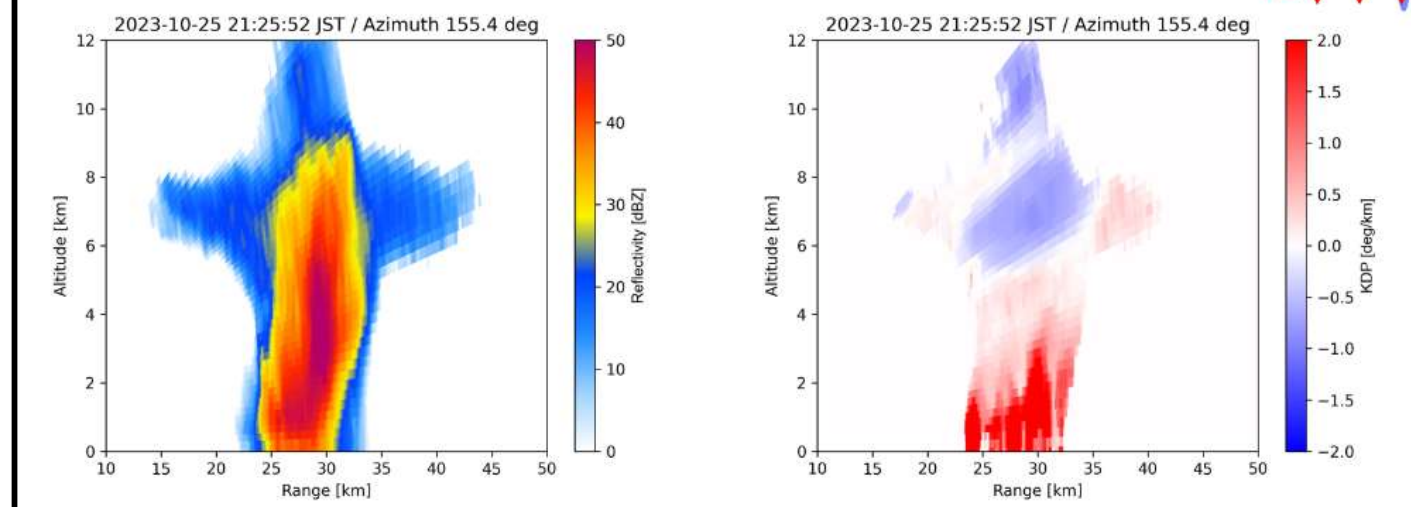
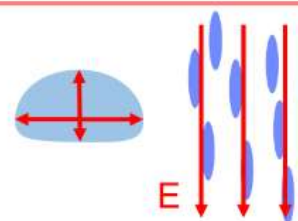
雷雲検知の高度化

MP-PAWRによる雷雲検知で機体・グランドハンドリングの安全性や定時性の確保に貢献

- マルチパラメーター情報（粒子判別結果や電波位相の遅延量の差）の組み合わせにより、発雷の予兆検知ができる。
- 現象の変化が速いため、MP-PAWRによる高速観測が必須。

二重偏波レーダーによる雷雲の検知

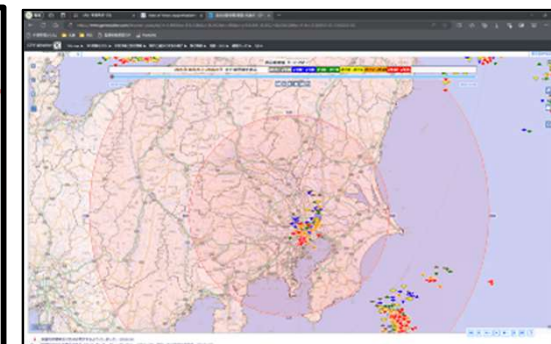
- 電波の遅延量の差から雷雲の発達度を計測可能
 - 横に扁平な雨粒 → 水平偏波の遅延量 > 垂直偏波の遅延量
 - 縦に配向した氷晶 → 水平偏波の遅延量 < 垂直偏波の遅延量
- 将来的に発雷の可能性をリアルタイムモニタリングへ



大阪大学 和田助教よりご提供

電荷分離が発生している領域で負のKDP（比偏波間位相差）が観測されている。

＋の電荷と－の電荷が上空で分離することでその間の粒子が縦に配向することによる。



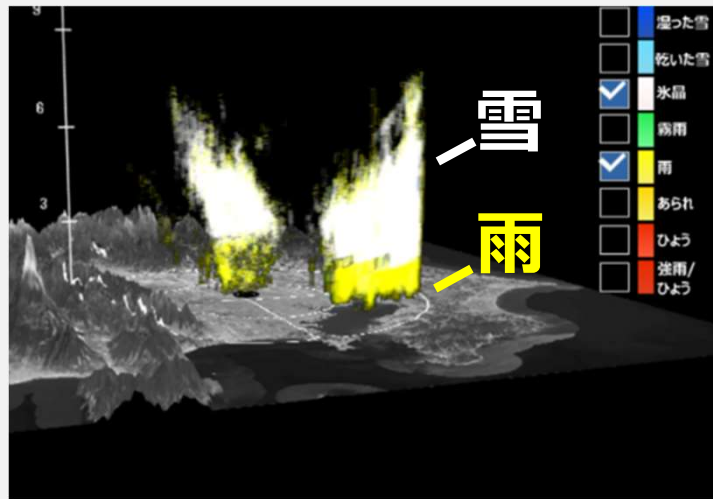
GPV Weather Web^(*1)
MP-PAWR観測時間帯に落雷が
実際に発生している。

降水粒子判別による降雪や降ひょうの迅速把握

降雪や降ひょう状況を把握し、適切な運航や危険回避により安全性・定時性に貢献したい

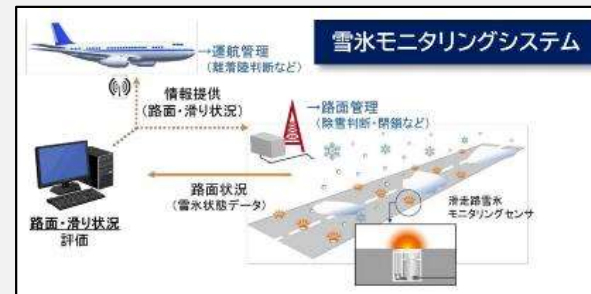
- 水平・垂直2つの偏波を使った位相差情報により、雨滴の大きさに応じた高精度な雨量観測を実現。
- 2つの偏波の強度比、相関等の情報により降水粒子（雨、雪、あられ等）の識別に期待できる。

雨・雪・あられの判別をリアルタイムで把握



湿った雪/乾いた雪/氷晶/霧雨/雨/あられ/ひょう/強雨
の判別が可能

滑走路雪氷検知技術の高度化や
航空機への降ひょう・着氷の回避が期待できる



雪氷検知技術^{(*)1}
出典：JAXA
気象影響防御技術



機首への降ひょうの被害状況^{(*)2}

(*)1出典：気象影響防御技術(Weather Eye)の研究開発 | JAXA

<https://www.aero.jaxa.jp/research/star/safety/>

(*)2出典：中国南方航空機、飛行中にひょう被害、機首損傷し「あばた顔」に—中国メディア | Record in China

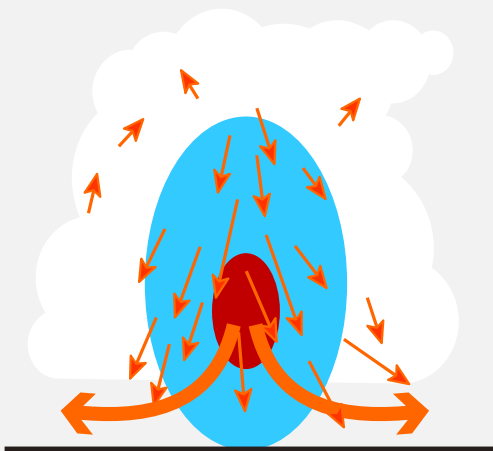
<https://www.recordchina.co.jp/b144453-s0-c10-d0035.html>

突風の予兆検知

積乱雲発達状況の3次元観測による突風予兆検知にて安全性に貢献したい

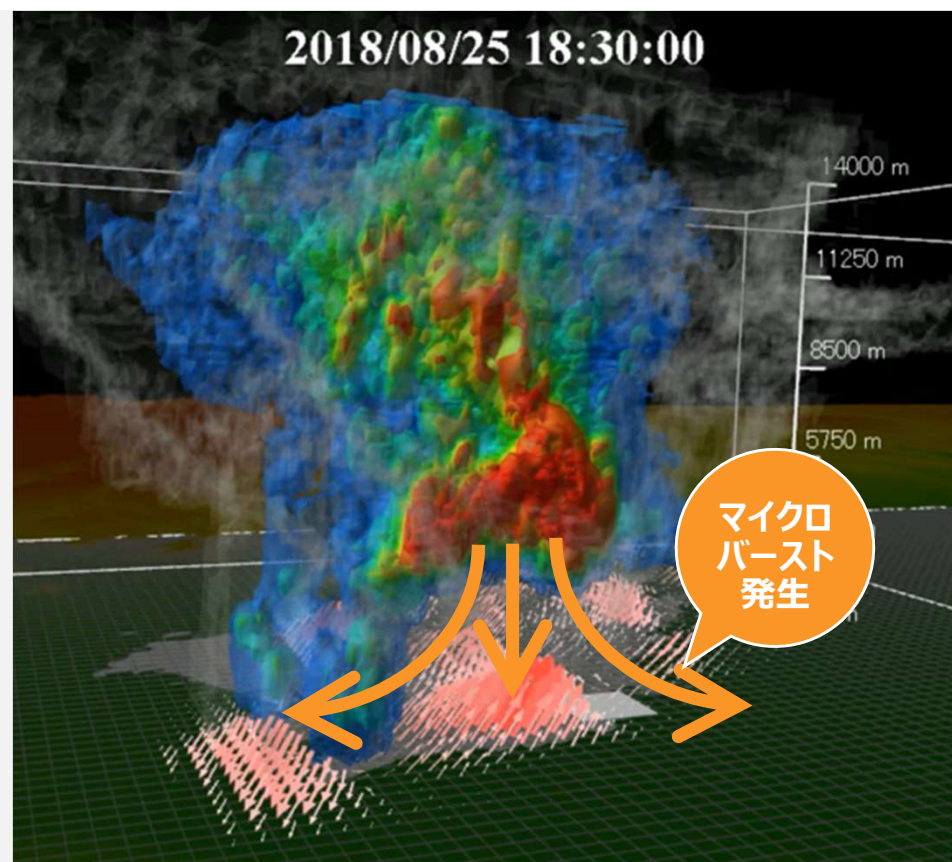
- 積乱雲の発達と突風発生の関係性を把握し、降水コア落下によるマイクロバーストの予兆を検知することで、ウインドシア情報の高度化が期待できる。

突風(マイクロバースト)とは



積乱雲からの下降気流が途中で弱まることなく地表付近まで降下し、4km未満の範囲で放射状に広がって強く吹き出す風を起こす現象。
航空機の安全航行の障害となる。

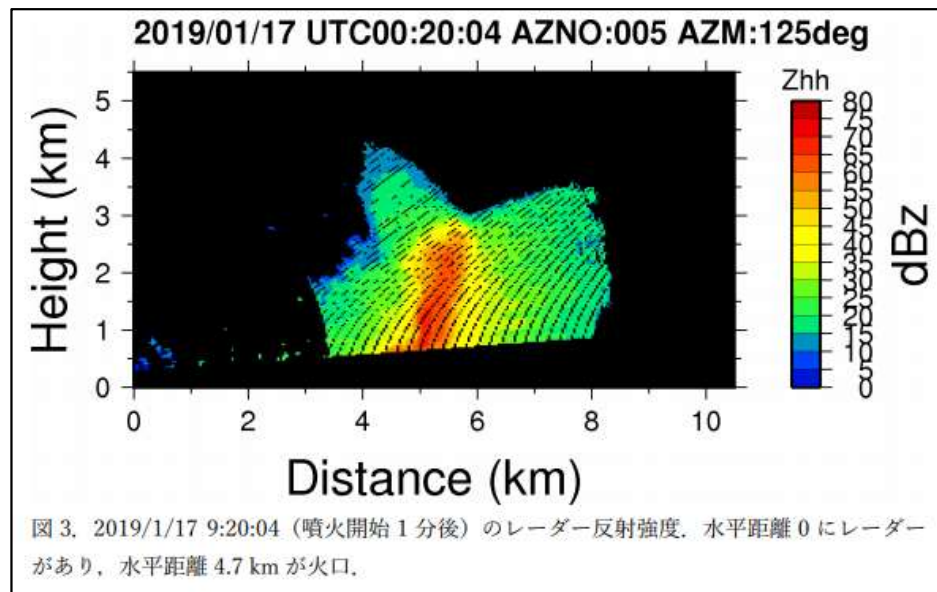
MP-PAWRが捉えた
降水粒子の落下とマイクロバーストの発生



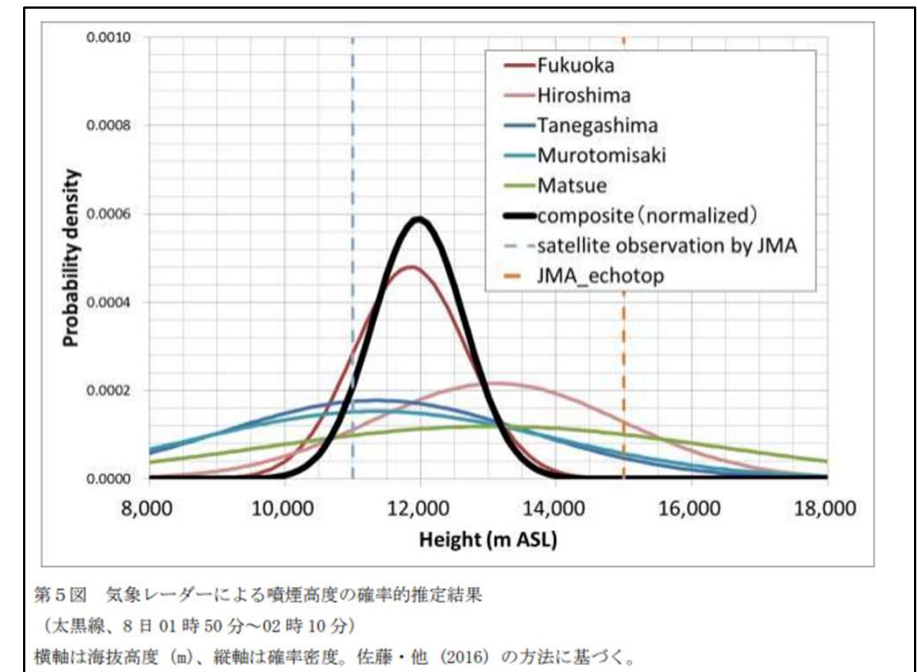
噴煙解析によるリアルタイム回避

噴煙の振る舞いの変化が速いため、MP-PAWRでの観測が望ましい。

- 気象レーダーを用いた噴煙の振る舞いについての研究が進んでおり、MP-PAWRを採用した際の火山灰情報の高精度化が今後検討課題になると考えている。
 - 噴煙高度の迅速推定
 - 火山噴出物（テフラ）の分類推定
- ➡ 移流拡散モデルへの初期値入力データになりえる



噴煙のレーダー観測結果(*1)



気象レーダーによる噴煙高度の確率的推定結果(*2)

(*1)出典：口永良部島 2019 年 1 月 17 日噴火のレーダー観測 | 京都大学

<http://www.svo.dpri.kyoto-u.ac.jp/new/wp-content/uploads/2019/01/RadarKuchinoerabu20190117.pdf>

(*2)出典：火山噴火予知連絡会会報 第 126 号、気象研究所

https://www.jma.go.jp/jma/kishou/shingikai/ccpve/Report/126/kaiho_126_26.pdf

まとめ

最新観測機材を有効活用することで、運航の高度化に貢献していきたい。

- MP-PAWRの開発と製品化を実施し、研究用として3式運用中。
- 発達した積乱雲近傍で航空機が飛行している事例もあることを確認した。
- マルチパラメーター観測により、雷検知技術を高度化することが可能になる。
- 粒子判別結果から、降雪や降ひょうの迅速把握や着氷検知の見込みがある。
- 上空の雨量や風の観測をすることで、突風予兆検知の見込みがある。
- 噴煙の迅速観測により火山灰情報高度化の可能性がある。

＜今後の展開＞

- MP-PAWR展開に向けた訴求が必要で、データ解析について大学との共同研究を実施していく。
- MP-PAWR観測データを使った検証や新規アルゴリズムの開発を実施していく。
- 優先度の高い雷検知については、社会実装に向けた研究開発を進めていきたい。

ご清聴ありがとうございました。