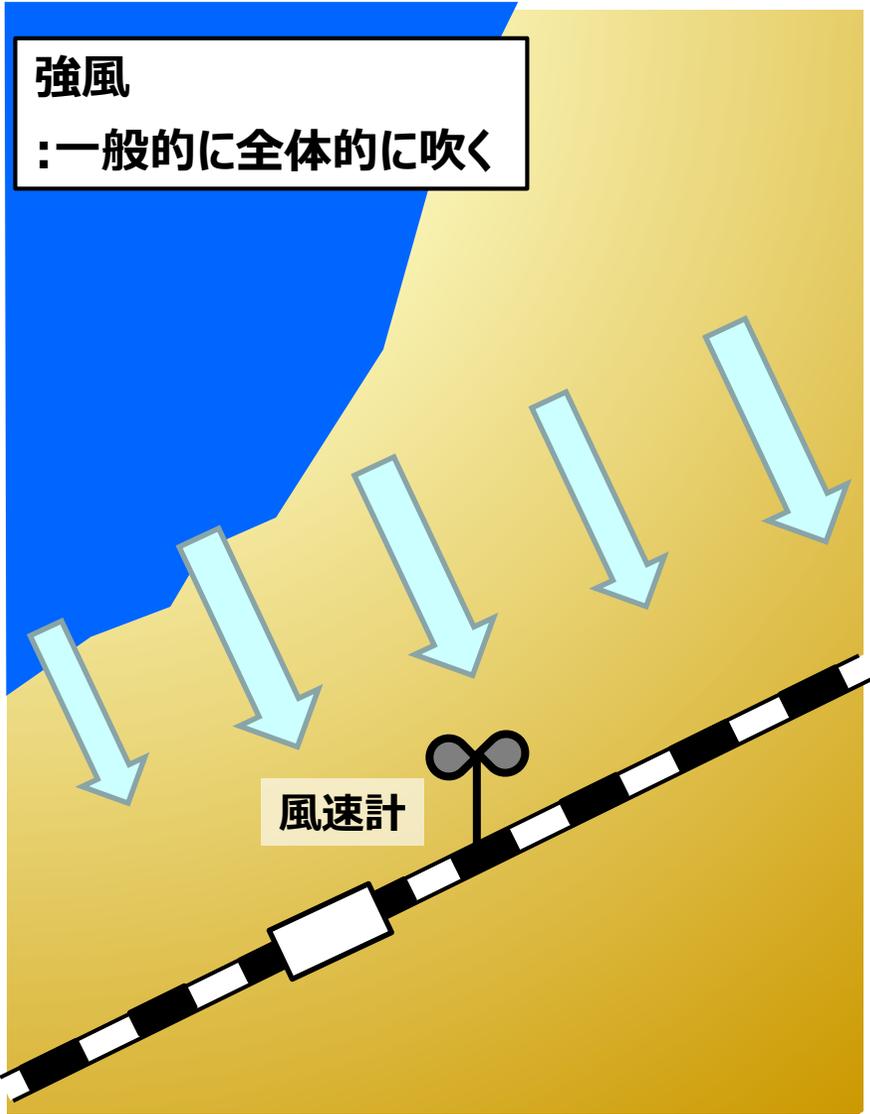


# 突風探知のための気象レーダー

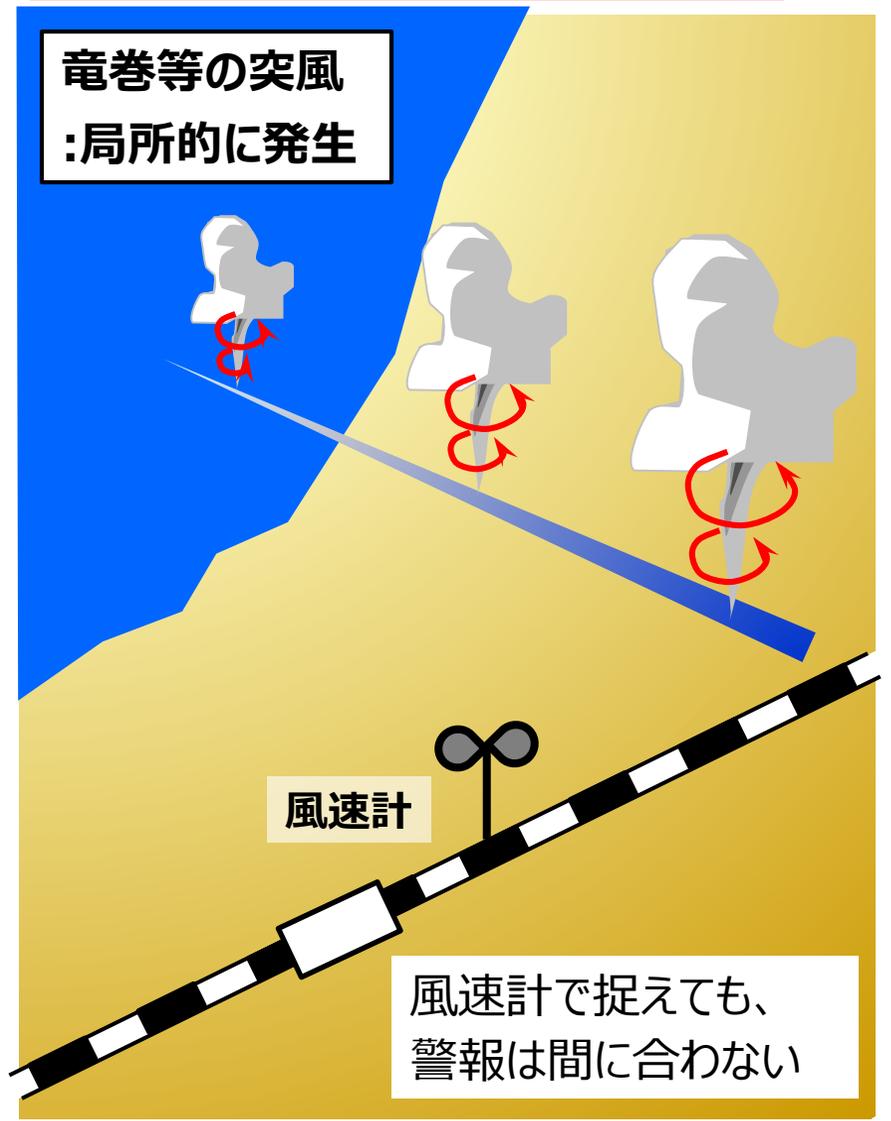
## 強風:風速計で捕捉可能

**強風**  
:一般的に全体的に吹く

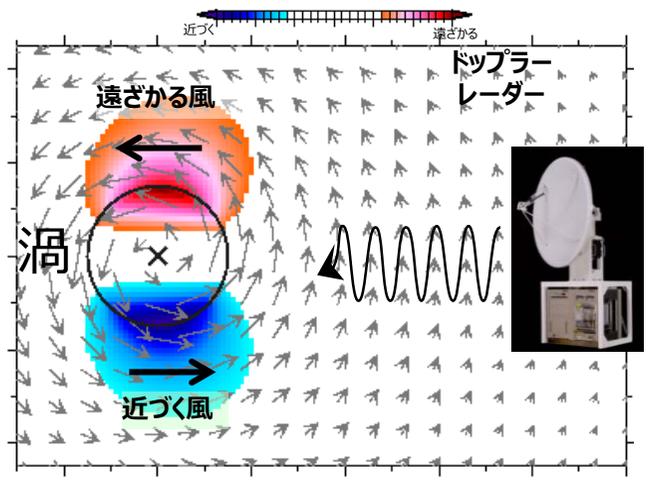


## 突風:風速計で捕捉困難

**竜巻等の突風**  
:局所的に発生



## 渦周辺のドップラー速度分布図

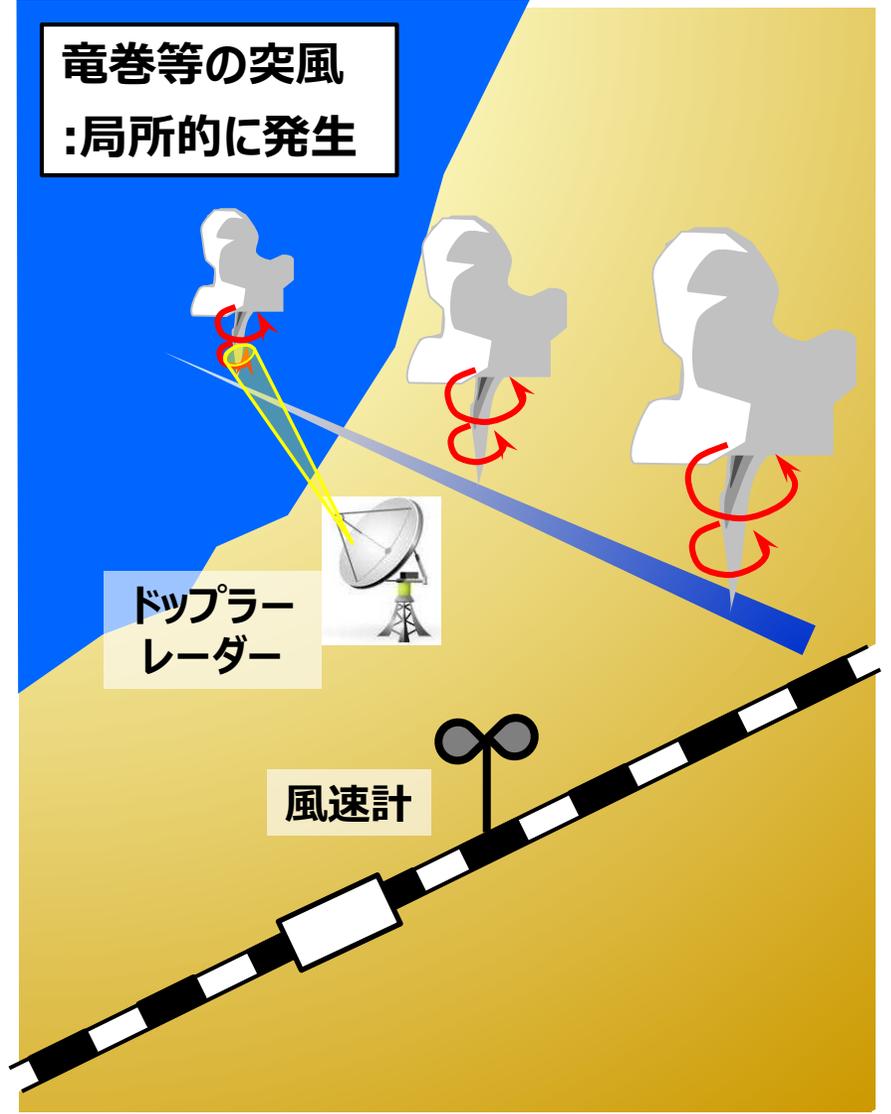


- ドップラーレーダーで突風(渦)を直接捕捉可能
- 線路に突風が到達する前に列車運転規制を実施



ドップラーレーダーを用いると風速計に比べて、**安全かつ合理的な**突風に対する列車運転規制が可能

## 突風:ドップラーレーダーが有利



## 列車の安全運行のため、気象レーダーで突風を探知し、列車運転規制を実施

### 羽越線列車脱線事故 (2005.12.25)

竜巻など突風を風速計で捉えることは困難



気象レーダーで渦を直接捉える

### 突風探知手法の開発



【参考】

鉄道事故調査報告書（羽越線砂越駅～北余目駅間列車脱線事故、平成20年4月2日 航空・鉄道事故調査委員会）の記載内容（一部抜粋）

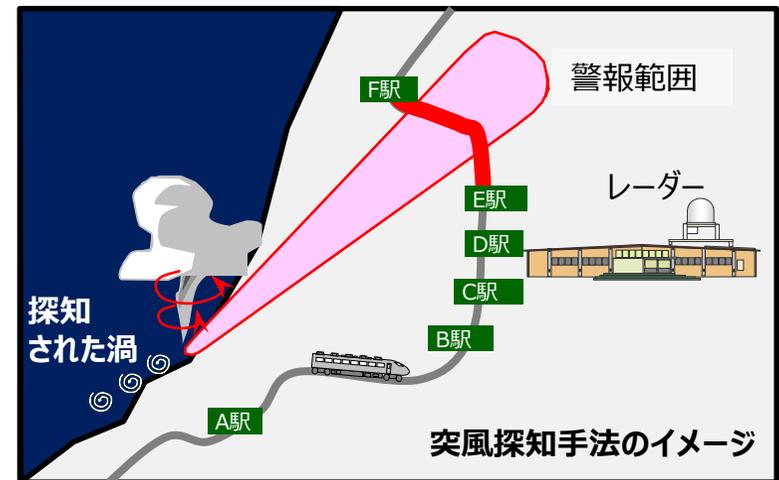
3.9.8 強風対策の考え方に関する解析

3.9.8.1 気象情報の有効活用

現在の気象庁におけるドップラーレーダーの整備等、突風をもたらす現象に対する観測体制の強化等の状況の変化を踏まえ、鉄道事業者としても、新たな知見による確度の高い気象情報を積極的に取り入れる等の対応を検討する必要があるものと考えられる。……



羽越本線余目駅に実験試験局(2007.3～2017.1)



実験試験局を用いた9年間の研究の結果、突風探知手法の実用化の目処が付いたため、2017年12月16日に無線評定陸上局を開局し、運用を実施中



# ドップラーレーダーを用いた突風に対する列車運転規制

余目レーダー（実験試験局）での評価結果

## 【渦の捕捉性能（鉄道の安全運行）】

- 対象：2007年～2013年度の冬季(10月～3月)にドップラーレーダー観測範囲内で発生した突風
- 地上被害が発生した突風：気象庁の突風データベースより抽出
- 風速計で観測された突風の定義：3分以内に15m/s以上変化し、30m/sを超える風が観測

突風事例	発生した突風の数 A	突風探知システム 捕捉できた数 B	捕捉率 B*100/A
(a)地上被害が発生した突風(F0*)	3	2	67%
(b)風速計で観測された突風(30m/s以上)	6	4	

\* Fスケールとは、竜巻やダウンバーストなどの突風により発生した被害の状況から風速を大まかに推定する指標（ F0：17-32, F1：33-49m/s・・・）

**安全性向上：これまで捉えることが困難だった突風を直接捉えることが可能**

## 【列車運転規制の適中率（鉄道の安定運行）】

- 対象：2007年～2013年度の冬季(10月～3月)
- 羽越本線：小岩川～女鹿間、突風閾値33m/s

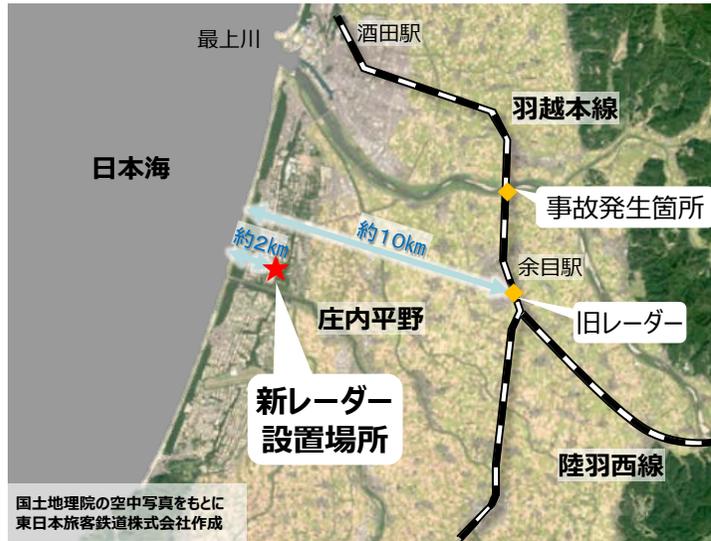
列車運転規制回数 C	渦による列車運転規制回数 D	適中率 D*100/C
11回	9回	81.9%

**適中率が極めて高い→列車運行上、必要な時に列車を停止している**

# 列車運転規制用ドップラーレーダー 免許・仕様等

項目	コード等
無線局の種別コード	無線標定陸上局 (LR)
無線局の目的コード	公共業務用 (PUB)
通信事項コード	気象業務に関する事項(気象警報に関する事項を除く。) (CWR)

項目	性能
レーダータイプ	2重偏波ドップラーレーダー
使用周波数	9725MHz
パルス幅	短パルス : 1.0 $\mu$ s / 長パルス : 8, 16, 32 $\mu$ s
電波形式	4M40V0N
占有周波数帯 (OBW)	4.4MHz以下
送信出力	400W (H/V同時送信)
給電線損失	送信 : 2.2dB / 受信 : 2.2dB
最大観測範囲	60 km
運用角度	方位 : 0~360° / 仰角-2~90°
ビーム幅	1.2° (アンテナ径 : 2m)
アンテナ利得	42 d B i
雑音指数	3 d B
処理分解能	75m



## ①設置位置：より海岸に近く

□ 突風の発生域である海域の近くにレーダーを設置することで、早期の突風探知が期待できるため。

## ②設置高さ：より高く

□ 周囲の建物や構造物の影響を受けにくく、設置場所から低い仰角で下層を高頻度に観測するため、標高50mの庄内砂丘の30m鉄塔上にレーダーを据え付けた。

# 列車運転規制で用いているアルゴリズム

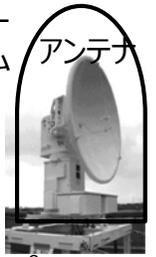
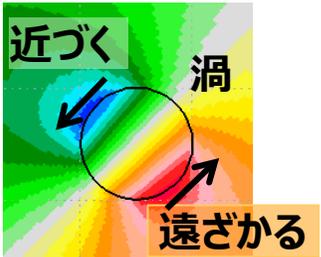
- ① ドップラー速度を用いて渦を探知している
- ② データの品質管理のために偏波パラメータ (φdpとphv)を用いている。

**Step1 観測・データ処理**



- ① 低層仰角によるPPI観測・
- ② データ処理 (品質管理)
- ・グランド・シークラッターの除去
- ・折り返し補正等

**Step2 探知**

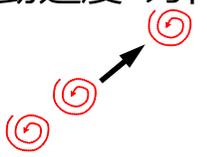
レーダー レドーム アンテナ

ドップラーレーダー

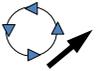
ドップラー速度分布

**Step3 追跡**

渦の移動速度・方向算出



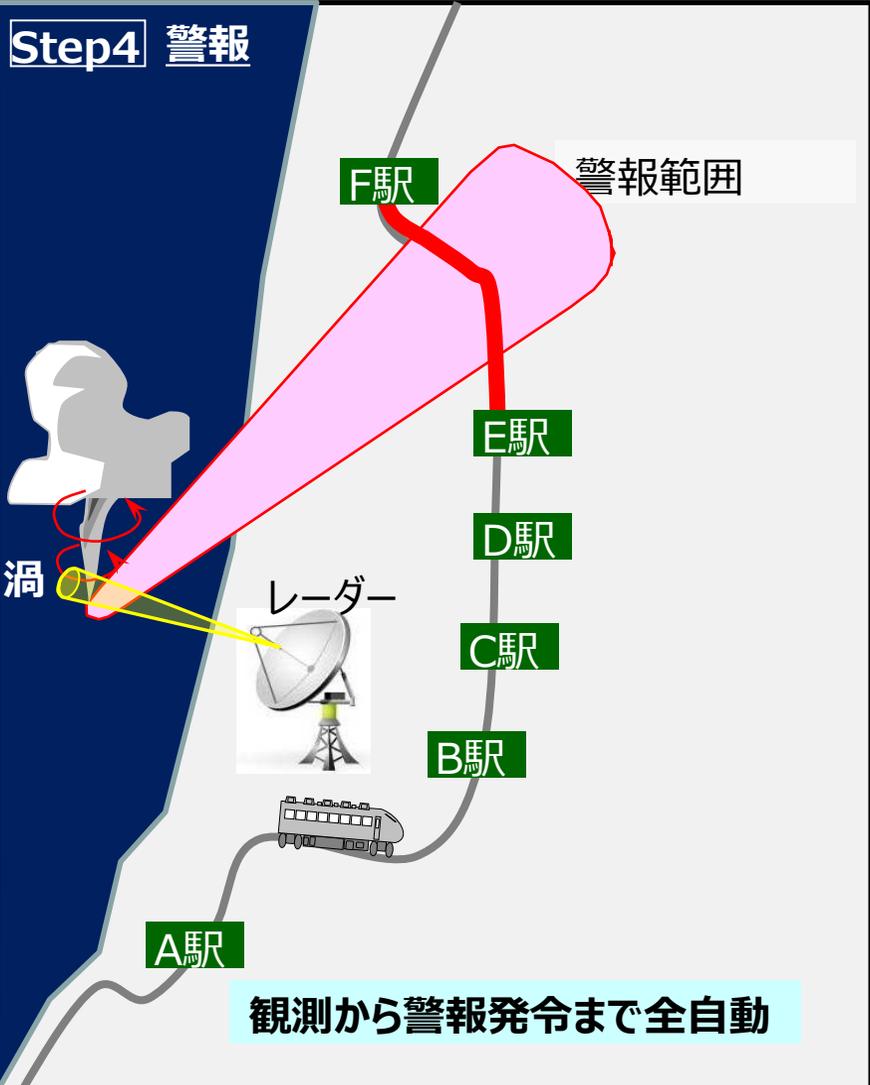
渦の回転による風  
⇒ 接線風速



渦の移動による風  
⇒ 移動速度

最大風速 = 接線風速 + 移動速度

**Step4 警報**



レーダー

渦

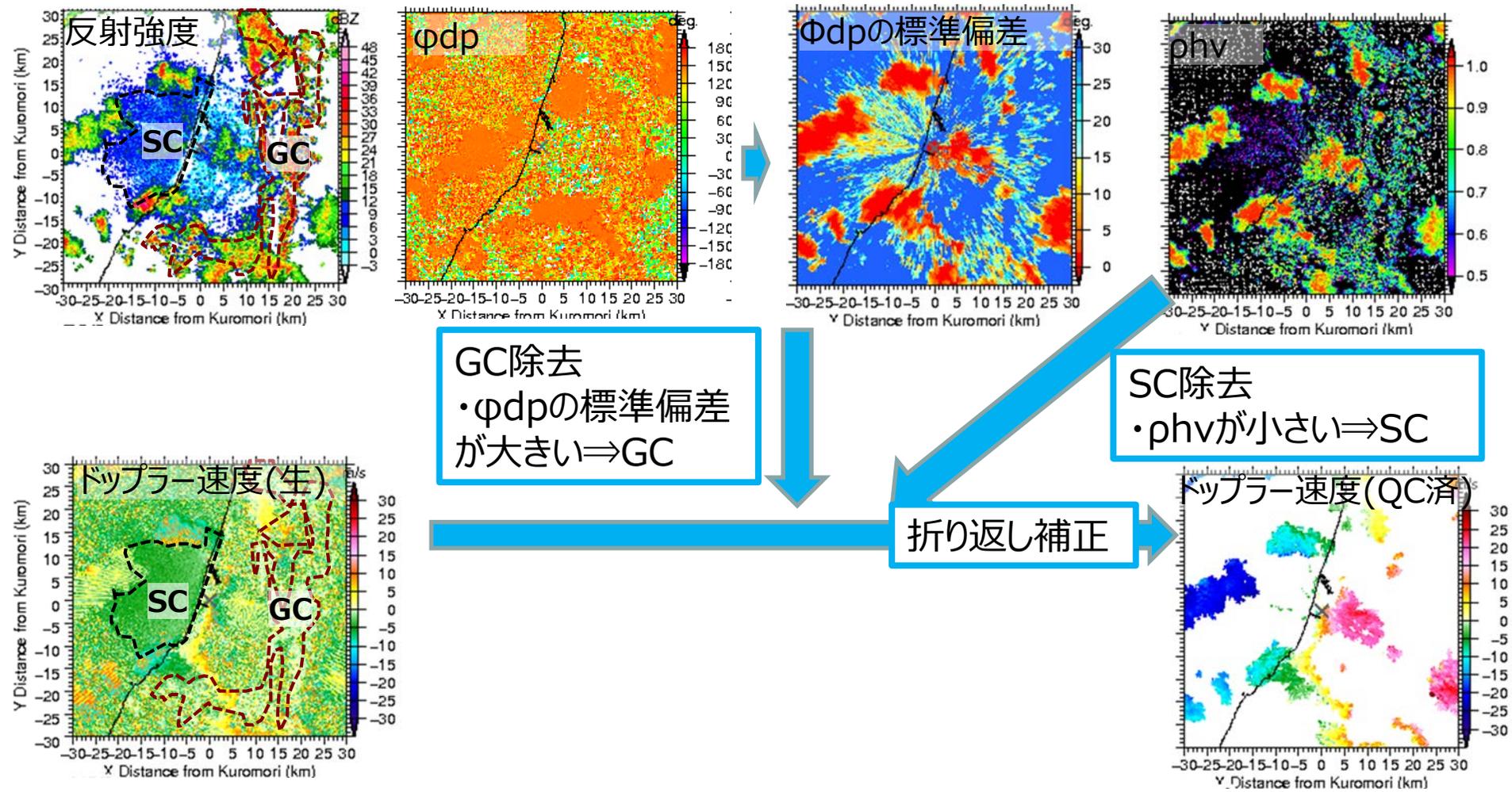
警報範囲

F駅 E駅 D駅 C駅 B駅 A駅

観測から警報発令まで全自動

# 偏波パラメータを用いた品質管理(グランド・シークラッター除去)

- ・グランドクラッター(GC)除去 :  $\Phi dp$ の標準偏差を活用 (山内ほか,2011)
- ・シークラッター (SC) 除去:  $phv$ を活用



GC除去  
 ・ $\phi dp$ の標準偏差  
 が大きい⇒GC

SC除去  
 ・ $phv$ が小さい⇒SC

折り返し補正

(藤原ほか,2017)

# 突風の探知に必要な精度

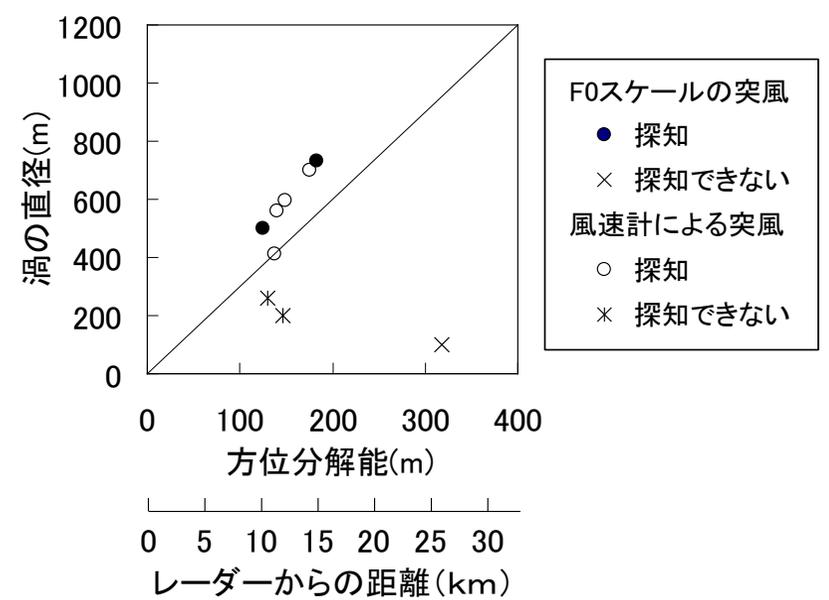
## ①電波干渉の重要性

❑ 電波干渉があると渦の見逃しや誤探知が発生する恐れがあるため、鉄道の安全・安定輸送が損なわれるため、現状の干渉具合程度（9.7G帯の技術基準）が必要

## ②レーダーの装置仕様

❑ 小さい渦の探知にはビーム幅が重要なため、国交省XRAIN程度のアンテナ径（2m）が必要である。

ドップラーレーダーの種類		マグネトロンタイプ	半導体タイプ
		小型 (余目タイプ)	中型 XRAINタイプ
メーカー		三菱特機	東芝
性能	ビーム幅	2.0度	1.2度
	距離分解能	75m	75m
	分解能模式図		
	最大探知範囲	30km	60km
安定性（運用実績）		低い	高い



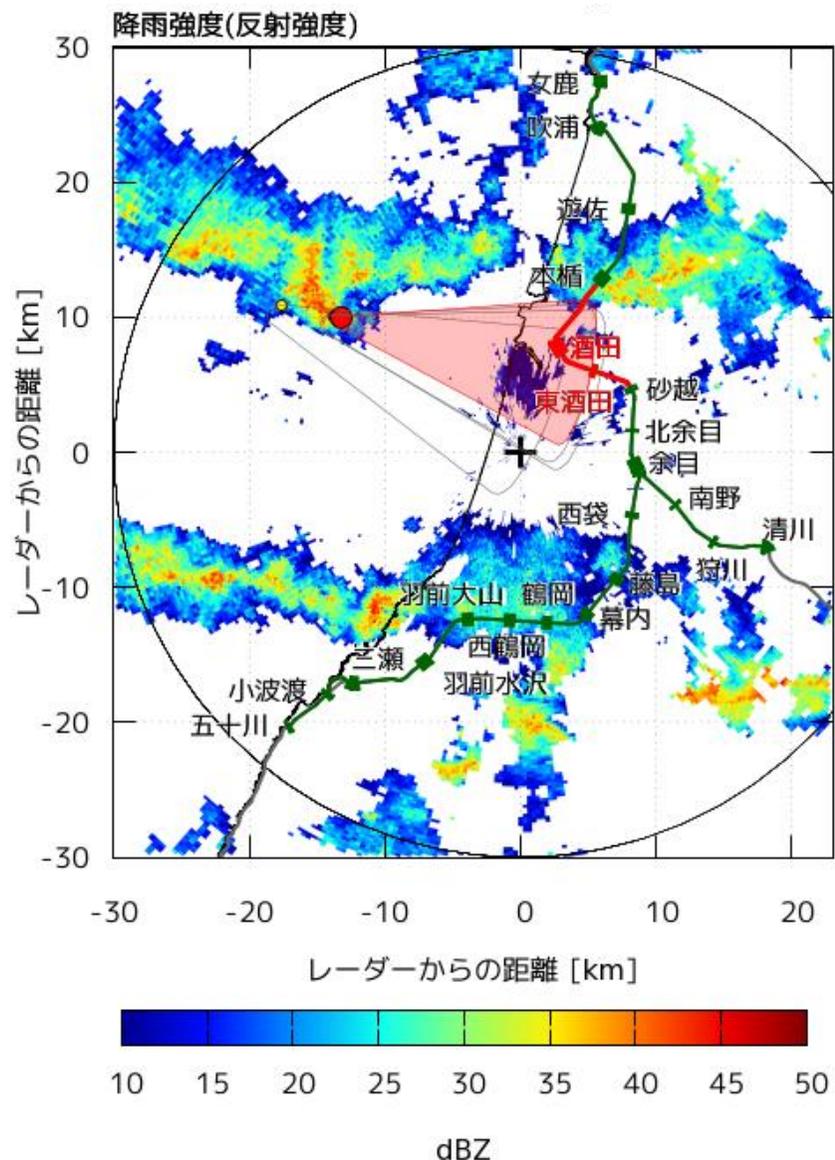


# ドップラーレーダーを用いた突風に対する列車運転規制

## 【今冬季(2017.12.19~2018.3.31)の実績】

- ドップラーレーダーを用いた突風に対する列車運転規制は、2017年12月19日に世界の鉄道で初めて羽越本線と陸羽西線に導入した。
- 2017/18年冬季は荒天が多く、使用開始から3月末までにこの方法による列車運転規制が16日\*実施された。

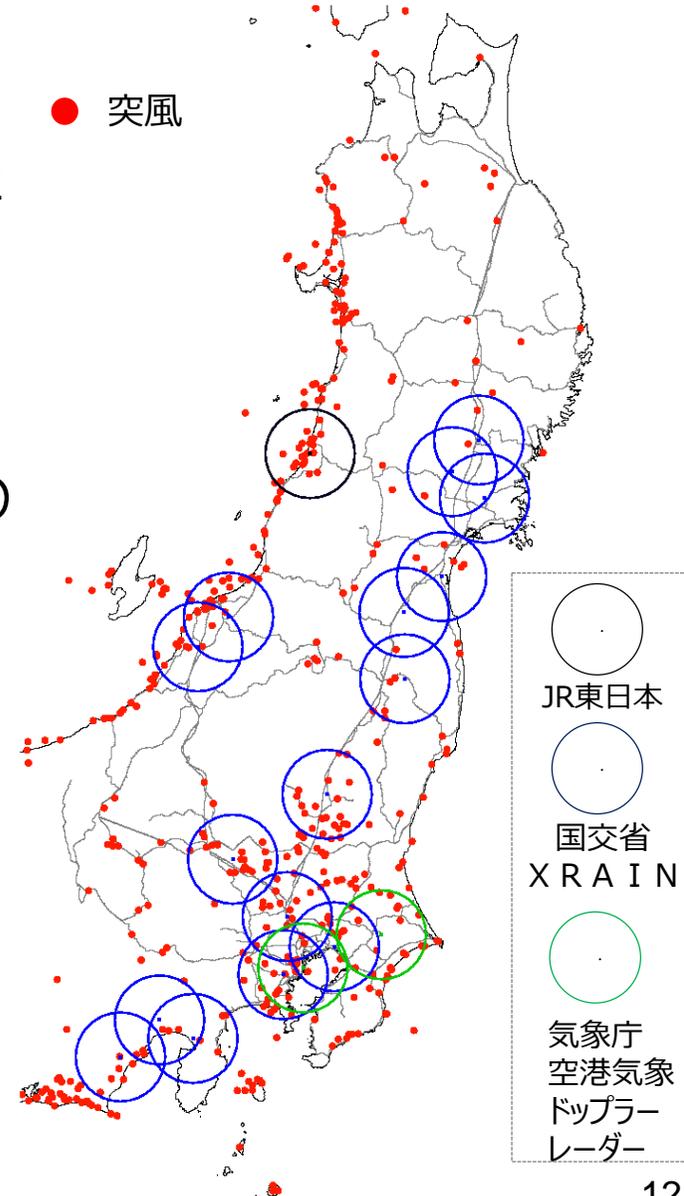
\*警報回数:53回  
(1回当たりの平均警報時間:約14分)



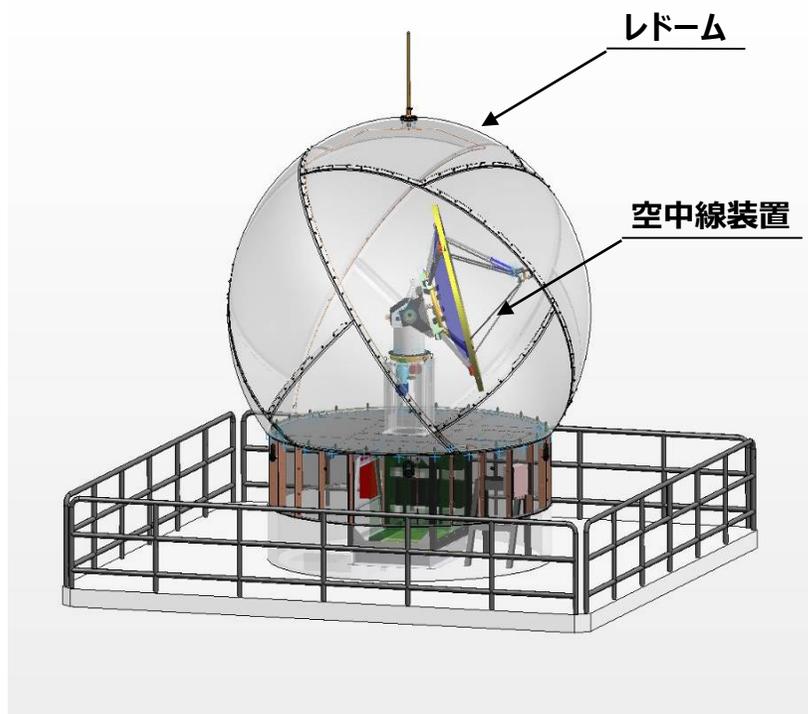
【列車運転規制の例】

【突風発生域とレーダー観測網】

- XRAIN等のスペックが担保された国の気象レーダーが活用できれば活用していきたいと考えていたが、当該の庄内地域では国の実運用の気象レーダーは存在しなかった。
- 気象レーダーを用いた突風に対する列車運転規制は、前例がなく、自社で持つこととなった。
- 気象コンサルにも相談はしたものの、XRAINタイプのものは実運用実績もなかった。



- 気象庁気象研究所と共同研究を進めながら、現行の気象レーダーを用いたアルゴリズムの精度向上と当社管内の突風が多いところ（日本海側、首都圏）で、ドップラーレーダーを用いた突風に対する列車運転規制手法の検討を進めている。
- XRAINや空港気象ドップラーレーダー等のスペックが担保された国の気象レーダーが活用できれば活用していきたい。
- XRAINや空港気象ドップラーレーダー等がないエリアに関しては、電波資源の有効利用の観点から、国と事業者との共有ができればよいと考えている。
- 気象レーダーを用いた降雨に対する列車運転規制であるが、まずは国のレーダー（気象庁・XRAIN）の活用を考えている。ただし、同等以上の精度が担保された場合や実運用時に欠測等が少ない等の条件で、民間のレーダーも活用の検討も実施したい。



鉄塔への設置イメージ

球型レドーム(4.3mφ)で  
2.0mアンテナと機器収容架  
を収容



レドーム 外観

