

情報通信審議会 情報通信技術分科会
陸上無線通信委員会
報告（案）

諮問第2040号

「気象レーダーの技術的条件」のうち

「9.7GHz帯汎用型気象レーダーの技術的条件」

令和3年12月
陸上無線通信委員会

目次	
I. 検討事項	4
II. 委員会及び作業班の構成	4
III. 検討経過	4
IV. 検討の概要	10
第1章 検討の背景	10
1.1. 気象レーダーとは	10
1.2. 気象レーダーを取り巻く背景やニーズ	12
1.2.1. 増加する異常気象	12
1.2.2. 近年の災害の特徴	14
1.2.3. 日本国内の民間事業者における気象レーダーのニーズ	18
第2章 気象レーダーの現状と動向	22
2.1. 現在国内で展開されている気象レーダーについて	22
2.1.1. C帯気象レーダー	23
2.1.2. X帯気象レーダー	24
2.1.2.1. 汎用型における9.4GHz帯と9.7GHz帯の区分け	27
2.1.2.2. 9.4GHz帯気象レーダー	30
2.1.2.3. 9.7GHz帯 高性能型気象レーダー	30
2.1.2.4. 諸外国における気象レーダーの利用動向	31
2.2. 汎用型気象レーダーの需要	32
第3章 汎用型気象レーダーの要求条件	34
3.1. 気象レーダーに求められるパラメータ	35
3.2. 高性能型、汎用型に求められる要求条件の違い	36
3.3. X帯気象レーダーに求められる技術的条件	38
3.3.1. 探知対象	38
3.3.2. 探知範囲	39
3.3.3. 距離分解能	39
3.3.4. 受信感度	40
3.4. 汎用型気象レーダーが求められる背景	41
3.4.1. 観測の目的	41
3.4.2. 局地的かつ急変する気象現象を観測する目的	42
3.5. 汎用型気象レーダーの観測手法	43
3.5.1. 送信波の特徴	43
3.5.2. 空中線の走査方法	44
3.5.3. ドップラー速度観測	44
3.5.4. 複数台のレーダーによる協調観測	45
3.6. 気象現象把握に必要な汎用型気象レーダーの諸元	46
3.6.1. 距離分解能	46
3.6.2. 探知範囲	46
3.6.3. 探知性能	47
3.6.5. 占有周波数帯幅	48
3.6.6. 必要な気象レーダーの諸元	48
第4章 汎用型気象レーダーの前提条件	50
第5章 同一周波数帯の他の無線システムとの共用条件	52
5.1. 気象レーダー間の共用条件	52

5.1.1.	高性能型レーダーと汎用型レーダーとの共用条件	52
5.1.2.	汎用型気象レーダー同士の共用条件	56
5.2.	沿岸監視レーダー・波高レーダー	57
5.3.	BS/CS放送受信設備	62
5.3.1.	システム概要と気象レーダー送信波のBS/CS受信設備への影響について	62
5.3.2.	共用検討モデル	62
5.3.3.	共用条件	64
第6章 汎用型気象レーダーの技術的条件		65
6.1.	一般的条件	65
6.1.1.	適用範囲	65
6.1.2.	周波数帯	65
6.2.	送信装置の条件	65
6.2.1.	変調方式および電波の型式	65
6.2.2.	搬送波の周波数	65
6.2.3.	周波数の許容偏差	65
6.2.4.	占有周波数帯幅の許容値	65
6.2.5.	空中線電力	65
6.2.6.	等価等方輻射電力 (EIRP)	65
6.2.7.	空中線電力の許容偏差	66
6.2.8.	デューティー比	66
6.3.	搬送波の変調波スペクトラムの許容範囲	66
6.4.	スプリアス発射又は不要発射の強度	66
6.4.1.	帯域外領域におけるスプリアス発射の強度の許容値	66
6.4.2.	スプリアス発射領域における不要発射の強度の許容値	66
6.5.	空中線	67
6.5.1.	空中線利得	67
6.5.2.	空中線ビーム幅	67
6.5.3.	空中線サイドローブレベル	67
6.6.	電波防護指針	67
6.7.	受信装置	68
6.7.1.	等価雑音帯域幅および雑音指数	68
6.7.2.	最小受信感度	68
6.7.3.	副次的に発する電波等の限度	68
6.8.	測定法	69
6.8.1.	周波数の測定	69
6.8.2.	占有周波数帯幅の測定	69
6.9.	その他	72
第7章 今後の課題		73
参考資料		75
参考資料1	近年の災害の特徴	76
参考資料2	近年の異常気象による災害への傾向と対策	127
参考資料3	9.4GHz帯実験試験局気象レーダーの実証実験結果	130
参考資料4	観測性能の定義	136

参考資料5	混信計算に必要な諸元	137
参考資料6	レーダー諸元モデル	138
参考資料7	レーダー間の混信計算モデル	139
参考資料8	想定設置場所での混信シミュレーション	142
参考資料9	汎用型気象レーダーの展開計画の検討結果について	147
参考資料10	占有周波数帯幅の測定例	148
参考資料11	電波防護指針	150

I. 検討事項

陸上無線通信委員会（以下「委員会」という）は、情報通信審議会諮問第2040号「気象レーダーの技術的条件」（平成29年9月27日諮問）のうち、「9.7GHz帯汎用型気象レーダーの技術的条件」について検討を行った。

II. 委員会及び作業班の構成

委員会の構成は別表1のとおりである。

検討の促進を図るため、委員会の下に設置されている気象レーダー作業班（以下「作業班」という。）において気象レーダーの技術的条件について調査を実施した。当初は9.4GHz帯気象レーダーを先行して検討する予定で進めていたが、他システムとの共用条件を十分に検討する必要があることから、9.7GHz帯において汎用型気象レーダーを検討することとなり、その技術的条件の調査を実施した。

作業班等の構成は別表2及び別表3のとおりである。

III. 検討経過

1 委員会での検討

①第39回陸上無線通信委員会（平成29年10月5日）

気象レーダーの技術的条件に関する調査の進め方について検討を行った。

②第68回陸上無線通信委員会（令和3年12月14日～21日：メールでの検討）

「5GHz帯気象レーダーの技術的条件」及び「9.7GHz帯汎用型気象レーダーの技術的条件」の検討及び意見募集を行う委員会報告（案）のとりまとめを行った。

2 作業班での検討

①第1回気象レーダー作業班（平成29年10月13日）

気象レーダーの概要、気象レーダー作業班の運営方針の説明及び気象レーダーの技術的条件に関する検討（案）を説明し、（案）のとおり承認した。また、今後の作業班及び各サブ・ワーキング・グループの開催予定について説明、確認を行った。

②第2回気象レーダー作業班（平成29年12月21日）

X帯の共用検討対象システムの概要等について、以下の項目について説明を行った。

- ・船舶レーダー
- ・航空機気象レーダー
- ・BS/CS放送受信システム

③第3回気象レーダー作業班（平成30年4月19日）

周波数の有効利用のための5.3GHz帯無線LANのDFSの技術的条件のあり方について説明を行い、技術的条件や課題について、今後の対応方針を確認した。

④第4回気象レーダー作業班（平成30年4月19日）

主に船舶用レーダーとの混信及び共用の条件、航空機レーダーとX帯気象レーダーとの共用検討方針、気象レーダーとBS/CS受信共用検討等について説明を行った。

⑤第5回気象レーダー作業班（平成30年12月6日）

気象情報のユーザーからの要望、技術的条件（諸元）の分類、X帯気象レーダーに必要な諸元案、共用システムとの検討状況、5.3GHz帯無線LANのDFSの見直しに係る測定の結果等の検討状況の結果を報告した。また、気象レーダー作業班の報告書骨子案について確認を行った。

⑥第6回気象レーダー作業班（令和元年5月27日）

9.7GHz帯汎用型検討スケジュールや検討体制（案）、汎用型における9.4GHz帯と9.7GHz帯の区分け（案）、9.7GHz帯汎用型気象レーダーの諸元や設置台数について検討結果を報告した。また、占有周波数帯幅（OBW）及び特性周波数や、衛星放送受信設備との共用検討の状況について報告を行った。

⑦第7回気象レーダー作業班（令和2年5月13日）

C帯サブ・ワーキング・グループにおける検討状況の報告を行った。

⑧第8回気象レーダー作業班（令和3年10月22日）

作業班報告書の取りまとめを行った。

※ X帯サブ・ワーキング・グループでは、同作業班における9.7GHz帯汎用型気象レーダーの技術的条件の検討に必要な情報の収集等を行い、より専門的な検討を行った。

情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会 構成員

(令和3年11月11日現在 敬称略)

氏名		所属
主査委員	安藤 真	東京工業大学 名誉教授
主査代理 専門委員	豊嶋 守生	国立研究開発法人情報通信研究機構ネットワーク研究所 ワイヤレスネットワーク研究センター 研究センター長
委員	森川 博之	東京大学大学院 工学系研究科 教授
専門委員	秋山 裕子	富士通株式会社 共通技術開発統括部 ソフトウェア化技術開発室長
	飯塚 留美	一般財団法人マルチメディア振興センターICTリサーチ&コンサルティング部 シニア・リサーチディレクター
	伊藤 数子	特定非営利活動法人STAND 代表理事
	河野 隆二	横浜国立大学大学院 工学研究院 教授 兼 同大学 未来情報通信医療社会 基盤センター長
	児玉 俊介	一般社団法人電波産業会 専務理事
	齋藤 一賢	日本電信電話株式会社 技術企画部門 電波室長
	田中 秀一	一般社団法人全国陸上無線協会 専務理事
	田丸 健三郎	日本マイクロソフト株式会社 技術統括室 業務執行役員 ナショナルテクノロジー オフィサー
	土田 健一	日本放送協会 放送技術研究所 伝送システム研究部 部長
	日野岳 充	一般社団法人日本アマチュア無線連盟 専務理事
	藤井 威生	電気通信大学 先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センター 教授
	藤野 義之	東洋大学 理工学部 電気電子情報工学科 教授
	本多 美雄	欧州ビジネス協会 電気通信機器委員会 委員長
	松尾 綾子	株式会社東芝 情報通信プラットフォーム研究所 ワイヤレスシステム ラボラトリー 室長
	三谷 政昭	東京電機大学 工学部 情報通信工学科 教授
三次 仁	慶應義塾大学 環境情報学部 教授	
吉田 貴容美	日本無線株式会社 シニアエキスパート	

情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会
気象レーダー作業班 構成員

(令和3年10月22日現在 敬称略)

氏名		所属
主任	川西 哲也	早稲田大学 教授
主任代理 (X 帯リーダー)	牛尾 知雄	大阪大学 教授
(C 帯リーダー)	中村 健治	名古屋大学 名誉教授
構成員	相川 和則	電気事業連合会 情報通信部 副部長 (第4回まで)
	村上 直弘	電気事業連合会 情報通信部 副部長 (第5回から第7回まで)
	安江 仁	電気事業連合会 情報通信部 副部長 (第8回から)
	石垣 悟	日本無線(株) 担当部長 (第6回まで)
	岡島 健	日本無線(株) ソリューション事業部 水インフラ技術部 水事業推進グループ (第7回から)
	小出 孝治	(国研) 宇宙航空研究開発機構 周波数管理室 室長 (第4回まで)
	市川 麻里	(国研) 宇宙航空研究開発機構 周波数管理室 室長 (第5回から第7回まで)
	渡辺 知尚	(国研) 宇宙航空研究開発機構 周波数管理室 室長 (第8回から)
	柿元 生也	三菱電機(株) 通信機製作所インフラ情報システム部監視管制システム課 専任
	工藤 則安	気象庁 観測部 観測課 調査官 (第2回まで)
	梶原 佑介	気象庁 大気海洋部 観測整備計画課 遠隔観測技術管理調整官 (第3回から)
	田村 知紀	全日本空輸(株) 整備センター 技術部 電装技術チーム (第1回)
	菊池 弘明	全日本空輸(株) 整備センター 技術部 担当部長 (第2回から第6回まで)
	並木 広行	全日本空輸(株) 整備センター 技術部 マネジャー (第7回から)
	佐藤 常人	国土交通省 大臣官房技術調査課 電気通信室 課長補佐 (第2回まで)
	小嶋 正一	国土交通省 大臣官房技術調査課 電気通信室 企画専門官 (第3回から第7回まで)
	中村 淳一	国土交通省 大臣官房技術調査課 電気通信室 企画専門官 (第8回から)
	龍野 真哉	海上保安庁 総務部 情報通信課 システム整備室 課長補佐 (第2回まで)
	鮫島 耕治	海上保安庁 総務部 情報通信課 システム整備室 課長補佐 (第3回から第6回まで)
	狩野 建司	海上保安庁 総務部 情報通信課 システム整備室 課長補佐 (第7回)
伊藤 武志	海上保安庁 総務部 情報通信課 システム整備室 専門官 (第8回から)	

清水 昭典	古野電気（株）SSBUソリューション開発2課 課長
正源 和義	（株）放送衛星システム 総合企画室 専任部長（第7回まで）
田中 祥次	（株）放送衛星システム 総合企画室 専任部長（第8回から）
鷹取 泰司	（一社）電波産業会 無線LAN開発部会 副委員長
田北 順二	（一社）全国船舶無線協会 水洋会部会 事務局長
田島 慶一	スカパーJSAT（株）技術運用部門 放送技術本部システム技術部 放送技術主幹
田中 祥次	NHK放送技術研究所 伝送システム研究部 上級研究員（第4回まで）
横畑 和典	NHK放送技術研究所 伝送システム研究部 上級研究員（第5回から第7回まで）
長坂 正史	NHK放送技術研究所 伝送システム研究部 上級研究員（第8回から）
初村 昭敏	国土交通省 航空局 交通管制部 管制技術課 航空管制技術調査官（第4回まで）
渡邊 浩志	国土交通省 航空局 交通管制部 管制技術課 航行支援技術高度化企画室 管制技術調査官（第5回）
川村 和也	国土交通省 航空局 交通管制部 管制技術課 航行支援技術高度化企画室 管制技術調査官（第6回から）
花土 弘	（国研）情報通信研究機構 電磁波研究所 リモートセンシング研究室研究マネージャー
松田 圭太	防衛省 整備計画局 情報通信課 防衛部員（第6回まで）
阿部 敏和	防衛省 整備計画局 情報通信課 電波政策室 防衛部員（第7回）
吉野 哲也	防衛省 整備計画局 情報通信課 電波政策室 防衛部員（第8回から）
山口 貴洋	住友電設（株）通信システム事業部 広域通信システム部 部長（第5回まで）
今井 克之	住友電設（株）通信システム事業部 広域通信システム部 主管（第6回から）
山路 昭彦	（一財）日本気象協会 防災ソリューション事業部 部長（第7回まで）
増田 有俊	（一財）日本気象協会 技術戦略室 室長（第8回から）
山本 雅也	（株）ウェザーニューズ 執行役員
横山 悠	（株）JALエンジニアリング 技術部 システム技術室電装技術グループ
米本 成人	（国研）海上・港湾・航空技術研究所 電子航法研究所 上席研究員
和田 将一	東芝インフラシステムズ（株）電波システム事業部 電波応用技術主幹

情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会
 気象レーダー作業班 X帯サブ・ワーキング・グループ構成員

(令和3年10月22日現在 敬称略)

氏名	所属
リーダー	牛尾 知雄 大阪大学 教授
構成員	飯田 秀重 (一財) 日本気象協会 主任技師
	稲見 敏之 国土交通省 大臣官房技術調査課 電気通信室 係長 (第9回まで)
	小林 顕造 国土交通省 大臣官房技術調査課 電気通信室 係長 (第10回から)
	猪上 華子 気象庁 気象研究所 台風・災害気象研究部 主任研究官 (第11回まで)
	鈴木 修 気象庁 気象研究所 台風・災害気象研究部 研究官 (第12回から)
	岡田 良教 電気興業(株) 機器統括部 技術部 専任課長
	柿元 生也 三菱電機(株) 通信機製作所インフラ情報システム部監視管制システム課 専任
	川辺 俊和 (国研) 宇宙航空研究開発機構 周波数管理室 主任
	手柴 充博 (株) ウェザーニューズ レーダープロジェクトリーダー
	花土 弘 (国研) 情報通信研究機構 電磁波研究所 リモートセンシング研究室 研究マネージャー
	羽田 利博 日本無線(株) 担当課長
	廣瀬 孝睦 古野電気(株) SSBUSソリューション開発2課 主任技師
	前坂 剛 (国研) 防災科学技術研究所 主任研究員
和田 将一 東芝インフラシステムズ(株) 電波システム事業部 電波応用技術主幹	

IV. 検討の概要

第1章 検討の背景

1.1. 気象レーダーとは

気象レーダーは電波を空中に放射し、雨や雲の粒からの反射波を捉えることで、降水分布や風向風速等の観測を行う観測装置である。具体的には、図 1.1-1のように、空中線を回転させながら電波（マイクロ波）を発射し、半径数百kmの広範囲内に存在する雨や雪を観測する。発射した電波が戻ってくるまでの時間から雨や雪までの距離を測り、戻ってきた電波（レーダーエコー）の強度から雨や雪の強度を観測する。気象ドップラーレーダーは、雨や雪の強度に加え、戻ってきた電波の周波数のずれ（ドップラー効果）を利用して、雨や雪の動きを観測することが可能である。気象レーダーは、仰角を変更しながら水平回転し、気象レーダー設置位置を中心とした半球内の降雨分布を3次的に走査・測定する。

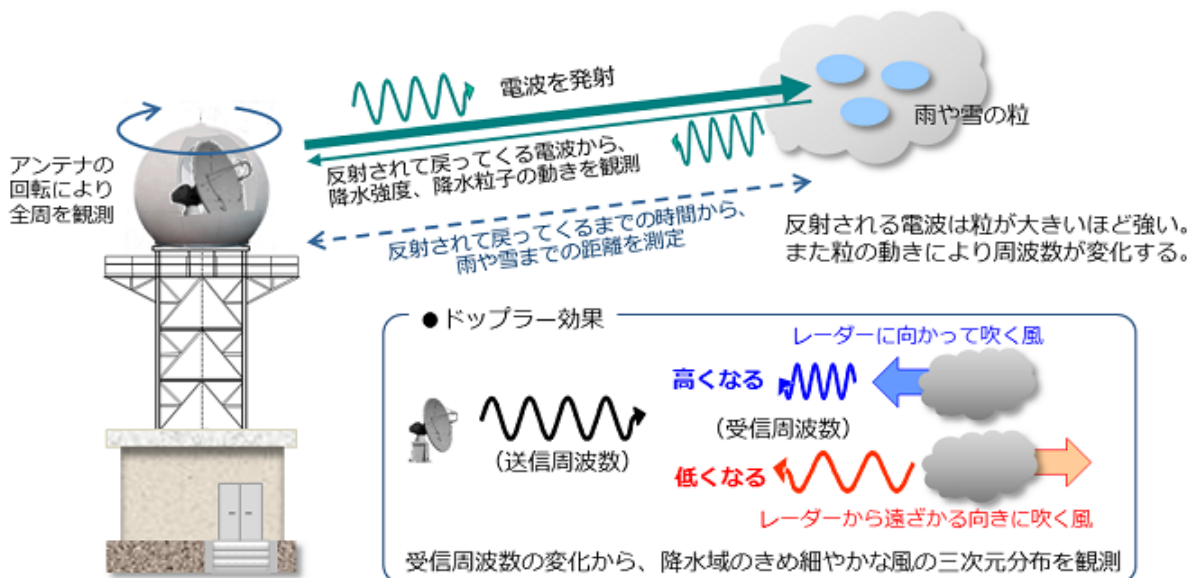


図 1.1-1 気象レーダーの概念図（出典 気象庁HP）

気象レーダーの持つ観測装置の特徴から、地上気象観測装置よりも早く雨雲の発生を観測することが可能である。地上の気象観測網の代表例として、気象庁アメダス（AMeDAS: Automated Meteorological Data Acquisition System）があるが、これは現在日本全国約1300か所に設置され、1分又は10分毎に降水量、風向・風速、気温、日照時間及び積雪深の観測を自動的に行っている。しかし、降水量はあくまで上空の雨雲により降らせた雨の量を観測しているものであり、事前に雨雲の発生を検知できるものではない。気象レーダーは、図1.1-2のとおり、積乱雲になる前の雨雲の卵の発生から、その雨雲の発達過程や衰弱過程、竜巻、突風の前兆現象を早期に観測することが期待されている。

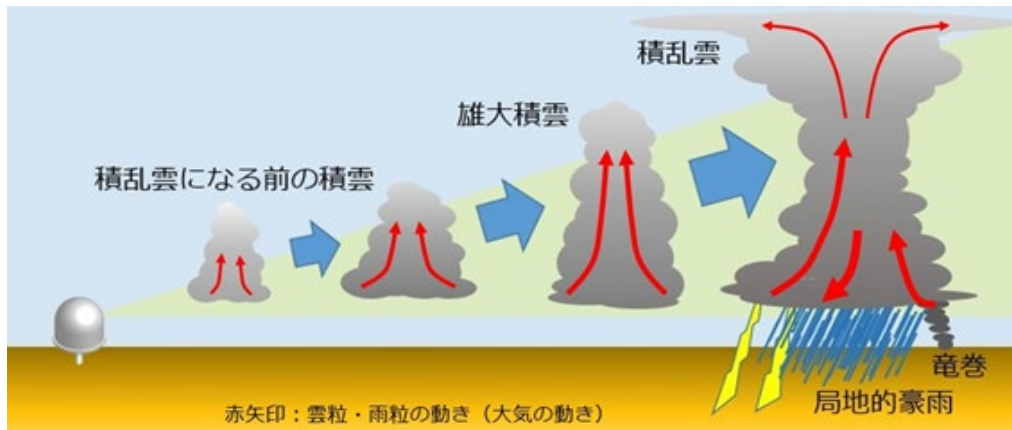


図1.1-2 雨雲の発達過程とレーダーによる観測イメージ

その気象レーダーの観測範囲は主として使用周波数に依存し、日本国内ではC帯（5GHz帯）、X帯（9GHz帯）の電波が使用されている。世界的にはS帯（3GHz帯）¹も使用されている。C帯気象レーダーはより広域を観測することを目的としているが、X帯は広範囲を観測するタイプと狭い範囲を観測するタイプに分かれる（図1.1-3）。観測タイプの違いは、その観測可能な気象現象と関連性が高く、広域観測を目的とするC帯気象レーダー、X帯気象レーダーでも広範囲観測を目的とするタイプのレーダーの場合は、台風や低気圧、前線などといった空間的な広がり大きい気象現象の観測に向いている。一方、X帯気象レーダーのうち、狭い範囲の観測を目的とするものは、局地的大雨や突風、竜巻など、空間的な広がりが小さい気象現象の観測に向いている。

このように様々なタイプの気象レーダーにより多様な気象現象の観測が可能となっており、この観測結果を基にした気象予測や防災情報が気象庁や民間気象会社などから情報提供されている。これらの情報は国民に広く提供されており、国民の安全安心の確保に活用されている。昨今の局地的大雨（いわゆるゲリラ豪雨）や大規模な水害の増加等を受け、気象レーダーによる気象予測や防災情報の重要性は増してきていると言える。

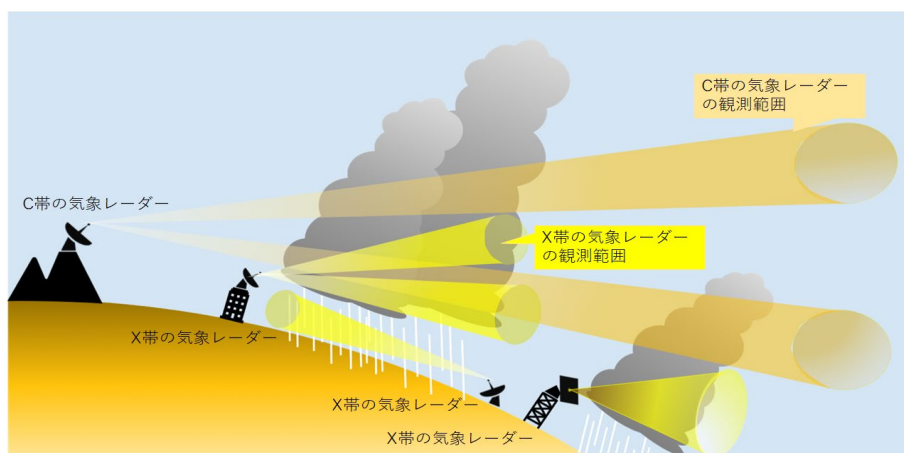


図1.1-3 気象レーダーの観測範囲の特徴

¹ 日本では、富士山レーダーとして2.8GHz帯気象レーダーを使用してきたが、気象衛星により台風の接近を観測できるようになったこと及び代替のレーダーが長野県車山と静岡県牧之原台地に設置されることによりその役割を終え、平成11年に富士山レーダーの運用は終了した。

1.2. 気象レーダーを取り巻く背景やニーズ

1.2.1. 増加する異常気象

近年の日本における短時間強雨の増加傾向は、気象観測データからも示されている。図1.2.1-1に日本全国の1時間降水量50mm以上及び80mm以上の年間発生回数の経年変化を示す。これを見ると、1時間降水量（毎正時における前1時間降水量）50mm以上及び80mm以上の短時間強雨の年間発生回数はともに増加している（信頼度水準 99%で統計的に有意）。50mm以上の場合、統計期間の最初の10年間（1976～1985年）平均では1,300地点あたり約226回だったが、最近の10年間（2009～2018年）平均では約311回と約1.4倍に増加している（「気候変動監視レポート2018（気象庁）」より引用）。

また、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）報告書（図1.2.1-2）によると将来の気候予測に基づく気象の変化を見ると、上位5%の日降水量の発生頻度は全国的にも増加していく傾向にあり、大雨による災害発生のリスクはさらに高まると予想されている。

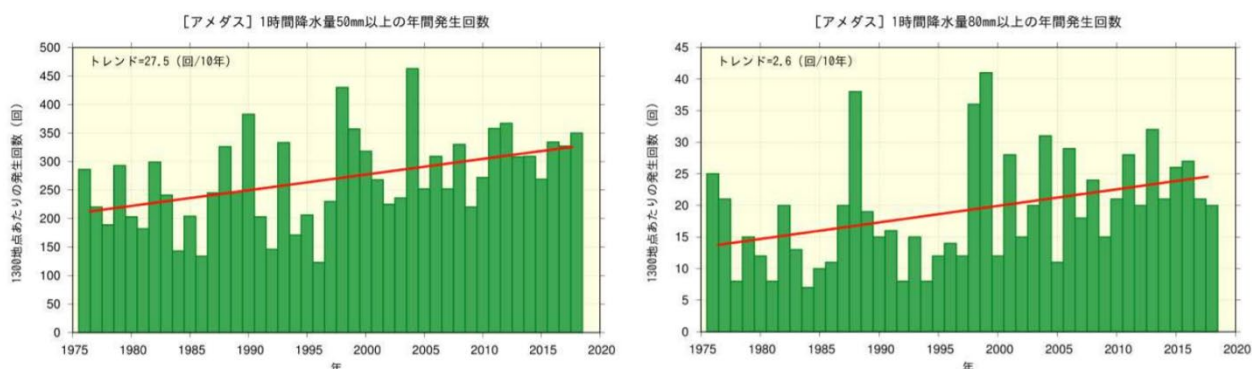
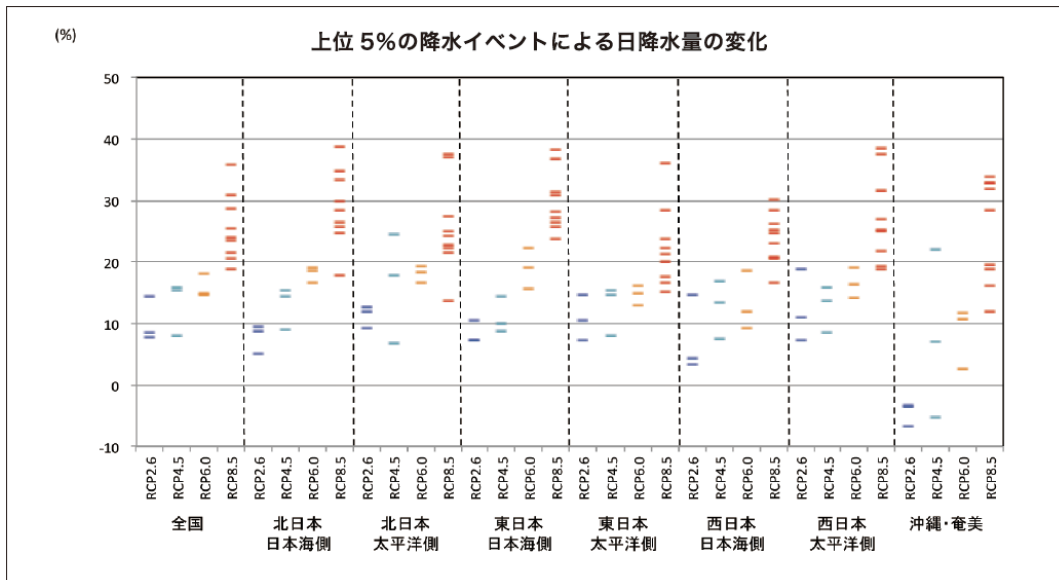


図1.2.1-1 全国の1時間降水量50mm以上及び80mm以上の年間発生回数の経年変化（1976～2018年）
（出典 気象庁「気候変動監視レポート2018」）



(%)	全国	北日本 日本海側	北日本 太平洋側	東日本 日本海側	東日本 太平洋側	西日本 日本海側	西日本 太平洋側	沖縄・奄美
RCP ^{2.6}	10.3	7.8	11.3	8.5	10.9	7.5	12.4	-4.5
RCP ^{4.5}	13.2	13.0	16.4	11.1	12.7	12.6	12.7	8.0
RCP ^{6.0}	16.0	18.1	18.2	19.0	14.7	13.2	16.5	8.4
RCP ^{8.5}	25.5	28.9	25.7	29.9	22.4	24.0	27.2	25.2
地域平均	※地域ごとの日降水量の発生頻度分布をもとに算出							
上位5% 日降水量	40~60(m m)	20~40(m m)	20~40(m m)	40~60(m m)	40~60(m m)	40~60(m m)	60~80(m m)	80~ 100(mm)

図1.2.1-2 大雨による降水量の将来予測
(出典 環境省「21世紀末における日本の気候」)

² RCP: Representative Concentration Pathways (代表的濃度経路)

1.2.2. 近年の災害の特徴

異常気象の増加に伴う災害等の発生が増加傾向にあり、かつ甚大な被害が発生している。以下、気象庁の「災害をもたらした気象事例」³と民間気象会社の一つである株式会社ウェザーニューズ作成の「Wx Files」⁴より、近年の代表的な災害について抜粋する（詳細は参考資料1を参照）。

(1) 令和2年7月豪雨

2020年7月3日から31日にかけて、日本付近に梅雨前線が停滞し、暖かく湿った空気が継続して流れ込んだため、各地で大雨となり、多くの被害が発生した。特に7月3日から8日にかけて、華中から九州付近を通して東日本にのびて、ほとんど停滞した梅雨前線の活動が非常に活発で、西日本や東日本で大雨となり、九州では記録的な大雨となった。

この大雨により、球磨川や筑後川といった大きな河川の氾濫が相次いで発生したほか、土砂災害等により、人的被害や物的被害が多く発生した。

7月3日から7月31日までの総降水量は、長野県や高知県の多い所で2,000ミリを超えたところがあり、九州南部、九州北部地方、東海地方、及び東北地方の多くの地点で、24、48、72時間降水量が観測史上1位の値を超えた。また、旬ごとの値として、7月上旬に全国のアメダス地点で観測した降水量の総和及び1時間降水量50mm以上の発生回数が、共に1982年以降で最多となった。

7月4日5時

(熊本県、鹿児島県に大雨特別警報を発表した直後)

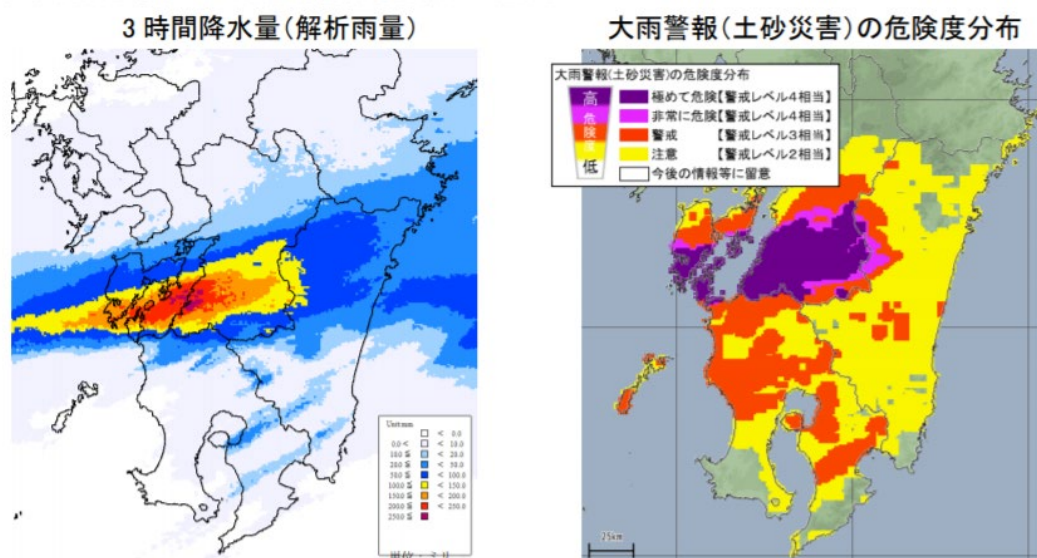


図1.2.2-1 令和2年7月豪雨の危険度分布（気象庁より）

(2) 令和元年10月台風19号による大規模災害

2019年10月12日、過去最強クラスの台風19号（Hagibis）が大型で強い勢力を保ったまま伊豆半島に上陸した。静岡県や関東甲信越、東北地方ではこれまでに経

³災害をもたらした気象事例についての詳細は、気象庁のHPのサイト（<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/index.html>）に掲載されている。

⁴顕著な被害をもたらした気象現象が発生した際に、ウェザーニューズにてまとめられるハインドキャスト。詳細は、ウェブサイト（<https://jp.weathernews.com/news/archive/press-release/>）に掲載されている。

験したことのないような記録的な大雨が降り、大規模な河川氾濫や土砂災害に見舞われた。この大雨で、気象庁は1都12県に大雨特別警報を発表した（12日15時30分に静岡県、神奈川県、東京都、埼玉県、群馬県、山梨県、長野県の7都県、19時50分に茨城県、栃木県、新潟県、福島県、宮城県の5県、13日0時40分に岩手県）。茨城県、栃木県、宮城県では2015年9月に鬼怒川が氾濫した「平成27年9月関東・東北豪雨」以来2回目、残りの都県では初の大雨特別警報となった。

台風19号の影響で、九州地方から東北地方にかけての広い範囲で少なくとも死者66名、行方不明者13名、重軽傷者398名の人的被害が発生した（10月19日時点、総務省消防庁調べ）。また、群馬県や岩手県など各地で300件を超える土砂災害が発生したほか、千曲川、阿武隈川など一級河川を含む少なくとも71の河川で堤防が決壊したことで、住宅や福祉施設などが甚大な被害を受けた（全壊85棟、半壊324棟、床上浸水24,266件、床下浸水21,474件、10月19日時点、総務省消防庁調べ）。このほか、最大で14都県内の15万戸で断水したほか（厚生労働省調べ）、一時52万戸を超える大規模な停電が発生した（10月13日、経済産業省調べ）。さらに、東海地方から関東地方を中心に、高波による防波堤の損壊や道路の崩落、港湾施設への浸水・漁船の転覆なども相次いだ。

台風に備えて、交通機関では大規模な計画運休が実施され、鉄道は12日昼頃から13日昼頃にかけて全面的に運転見合わせとなっていたので、鉄道利用者への被害は無かったが、千曲川の氾濫によって長野市の車両基地や北陸新幹線の車両が浸水した。航空は、9月に千葉市に上陸した台風15号の際には成田空港からの移動手段がなくなり、空港で利用者が孤立する事態が発生したが、今回は早めに11日から1,500便を超える欠航を決定したことで目立った混乱は見られなかった。高速道路や国道では、のり面崩落や土砂流入、路面冠水などが発生した。

（3）令和元年8月九州北部の記録的豪雨

2019年8月27～28日にかけて、前線と湿った空気の影響で九州北部を中心に記録的な大雨となった。佐賀県では28日4時頃に1時間で100mmを超える記録的な大雨が降り、重大な災害が発生する可能性が高まったことから、気象庁は28日5時50分に佐賀県、福岡県、長崎県に対して大雨特別警報を発表した。この雨による死者は佐賀県で3名、福岡県で1名となっている（2019年9月3日時点）。佐賀県を流れる六角川や牛津川があふれ、家屋や田畑の浸水被害が相次いだほか、排水不良で処理できなくなった雨水があふれる内水氾濫によって、大町町一帯で浸水した。この浸水によって、病院の入院患者ら200名が3日間に渡って孤立したほか、鉄工所から大量の油が流出した。また、道路の冠水によって車の水没や立ち往生が発生し、救助要請が相次いだ。大雨の影響で、28日早朝から交通機関も大幅に乱れ、JR九州や私鉄で一部運転を見合わせたほか、高速道路も九州道や長崎道などの一部区間で通行止めとなった。

1日の降水量も多く、多くのエリアで200mmを超えており、日降水量が最も多かった地点は佐賀県の白石で299.5mm、次いで長崎県の平戸292.5mm、佐賀県の佐賀で283.0mmとなった（表1.2.2-1）。佐賀での雨量は8月1ヶ月分の約1.4倍にあたる量の雨が1日で降ったことが分かった。アメダス佐賀は28日3～6時に降水のピークを迎え、3時43分から4時43分の1時間で111.0mmの猛烈な雨が降り、観測史上1位を更新した。また、アメダス白石でも3時41分から4時41分の1時間で109.5mmを観測した。佐賀県で1時間に100mm以上の雨が観測されたのは、1999年以来20年ぶりの

ことであった。

表1. 2. 2-1 8月27～28日に日降水量の記録を更新した地点
(記録を更新した地点のうち、200mm以上の降水を観測した地点)

県	市町村	アメダス	日降水量(mm)	記録
佐賀県	杵島郡白石町	白石(しろいし)	299.5	観測史上3位(8月28日)
長崎県	平戸市	平戸(ひらど)	292.5	観測史上8位(8月28日)
佐賀県	佐賀市	佐賀(さが)	283.0	観測史上4位(8月28日)
長崎県	松浦市	松浦(まつうら)	253.5	観測史上2位(8月27日)
佐賀県	伊万里市	伊万里(いまり)	253.0	観測史上5位(8月27日)
福岡県	八女市	黒木(くろぎ)	221.0	観測史上5位(8月28日)
長崎県	長崎市	長浦岳(ながうらだけ)	217.5	観測史上9位(8月28日)
佐賀県	唐津市	唐津(からつ)	216.5	観測史上1位(8月28日)
長崎県	北松浦郡小値賀町	小値賀(おぢか)	216.5	観測史上2位(8月27日)
福岡県	久留米市	久留米(くろめ)	216.5	観測史上6位(8月28日)
福岡県	久留米市	耳納山(みのうさん)	215.0	観測史上4位(8月28日)
佐賀県	佐賀市	北山(ほくざん)	208.5	観測史上3位(8月27日)

(4) 平成30年7月豪雨

平成最後にして最大の気象災害となった「平成30年7月豪雨」は、西日本豪雨とも呼ばれ、この豪雨は影響範囲の広さが特徴的である。梅雨前線は6月終わり頃から活動が活発になった。7月に入り台風7号の北上に伴って暖かく湿った空気がより流れ込みやすくなり、上空の気圧の谷や夏の太平洋高気圧の位置関係によって梅雨前線が停滞し、強い雨が長時間継続した。

72時間降水量の過去最高を更新した地点が123地点に上り、大雨特別警報は11の府県に対して発表され、土砂災害や河川の氾濫によって甚大な被害に見舞われた。土砂災害の件数は広島県の1200件余りを筆頭に1都2府28県で2500件以上発生した(国土交通省)。河川の氾濫も相次ぎ、特に小田川の氾濫によって大規模な浸水となった倉敷市真備町では自宅に残っていた高齢の方の多数が犠牲になった。一連の大雨で亡くなった方は200人を大きく上回り、平成に発生した気象災害の中では最悪の数字となった。

(5) 平成30年2月福井豪雪

平成30年2月5日から8日にかけて、北陸西部では福井県嶺北地方・石川県加賀地方を中心に記録的な大雪となった。特に福井市では、7日に積雪深が147cmとなり、昭和56年豪雪以来、37年ぶりに140cmを超える積雪が観測された。特に積雪増加が顕著だった4～6日にかけては2日間で96cm積雪が増加し、昭和56年豪雪時に匹敵するものであった。

この大雪の影響で、石川県と福井県を結ぶ国道8号では一時約1,500台の車が立ち往生した。陸上自衛隊による除雪作業が行われ、9日未明に全ての滞留車両が解消するまでに約3日要した。また、福井県・石川県を中心に在来線の運休が相次いだほか、石川県の小松空港では5～8日にかけての4日間にわたり全便が欠

航となった。長期化した交通への影響は物流にも打撃を与え、店頭の商品が品薄となり、ガソリンスタンドの給油が停止するなど、食料や日用品の供給にも大きな影響を与えた。

(6) 平成29年7月九州北部豪雨

平成29年7月5日、日本付近に停滞していた梅雨前線に向かって西から暖かく湿った空気が流れ込み、局地的に雨雲が発達した影響で福岡県朝倉市や大分県日田市を中心に激しい雨を降らせた。最も被害が大きかった朝倉市に設置されたアメダスの観測値を振り返ると昼頃から雨が強まり始め、13時までの1時間に88.5mmの激しい雨を観測した。その後の1時間降水量も46.5mm、67.5mmと雨の激しさは衰えず、16時までの1時間降水量は106.0mmに達し、5日の朝倉市の総降水量は516.0mm、1時間降水量は最大で129.5mmを観測した。朝倉市の7月の平均降水量は354.1mmであり、1日でその1.5倍近い雨が降る記録的な豪雨であった。

この大雨により福岡県と大分県で合わせて40の方が亡くなり、そのうち34人は朝倉市で被害を受けた。複数の河川が溢れたことにより濁流が町を襲い、大きな被害につながった。非常に狭い範囲に集中して雨が降ったのが特徴的で、朝倉の隣に当たるアメダス太宰府は5日の日降水量が87.5mm、黒木は50.5mmに留まった。風の向きや地形の影響でバックビルディング型の線状降水帯が形成され、発達した積乱雲が次々に朝倉市周辺や日田市周辺に流れ込み、長時間に渡って激しい雨を降らせた。

7月の平均雨量の約1.5倍を1日で観測

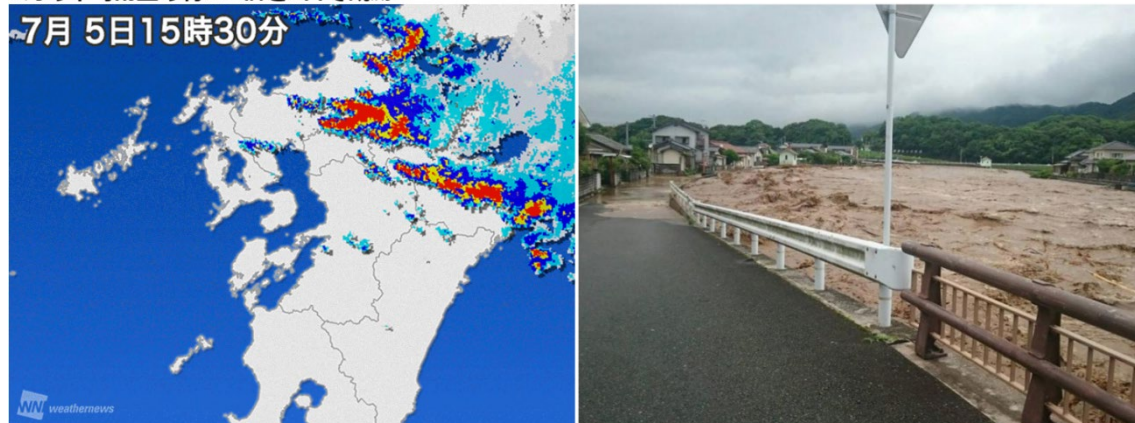


図1.2.2-2 九州北部豪雨時の雨雲の様子と写真（ウェザーニューズより）

(7) 平成25年2月北海道猛吹雪

平成25年3月2日、北海道を発達した低気圧が通過し、道内では暴風雪となった。また、積雪した雪を巻き上げることで起こる地吹雪も発生し、昼間でも数メートル前が見えない状況が長時間にわたり続いた。特にオホーツク海側の地域での影響は大きく、道内では合わせて9名の方が亡くなる大惨事となった。

表1.2.2-2 湧別、中標津、網走の過去の日最大風速 (m/s)、網走の日最大瞬間風速 (m/s) の上位5位の値と記録日 (気象庁観測値より)

地点		1位	2位	3位	4位	5位
湧別	日最大風速 (1978年以降)	20.1 (2013/3/2)	17.5 (2010/3/21)	16 (2007/3/5)	16 (2004/3/27)	15.0 (2009/3/6)
	中標津	14 (1995/3/17)	12 (2004/3/27)	11.9 (2013/3/2)	11.4 (2010/3/13)	11.3 (2013/3/3)
網走	日最大風速 (1891年以降)	24.8 (1948/3/8)	23.3 (1948/3/7)	22.7 (1908/3/9)	22.3 (1944/3/26)	21.1 (1911/3/20)
	日最大瞬間風速 (1953年以降)	35.4 (2004/3/27)	32.8 (1965/3/11)	32.4 (1971/3/2)	31.9 (1990/3/13)	31.4 (2013/3/2)

以上、7つの災害事例で全体として言えることは、過去に類を見ない極端かつ記録的な現象が発生し、かつそれが過去に類を見ないほど広範囲（西日本豪雨）や非常に局所的（九州北部豪雨）、同一箇所で非常に長時間継続（福井豪雪）という特徴がある。また、福井豪雪に加え平成25年3月の北海道猛吹雪災害に代表される豪雪や猛吹雪は、普段は人口密度が低く、必ずしも交通量の多くない一般道でも発生し、大きな被害をもたらす傾向がある。

暴風雪の発生に伴う近年の通行止め発生状況について

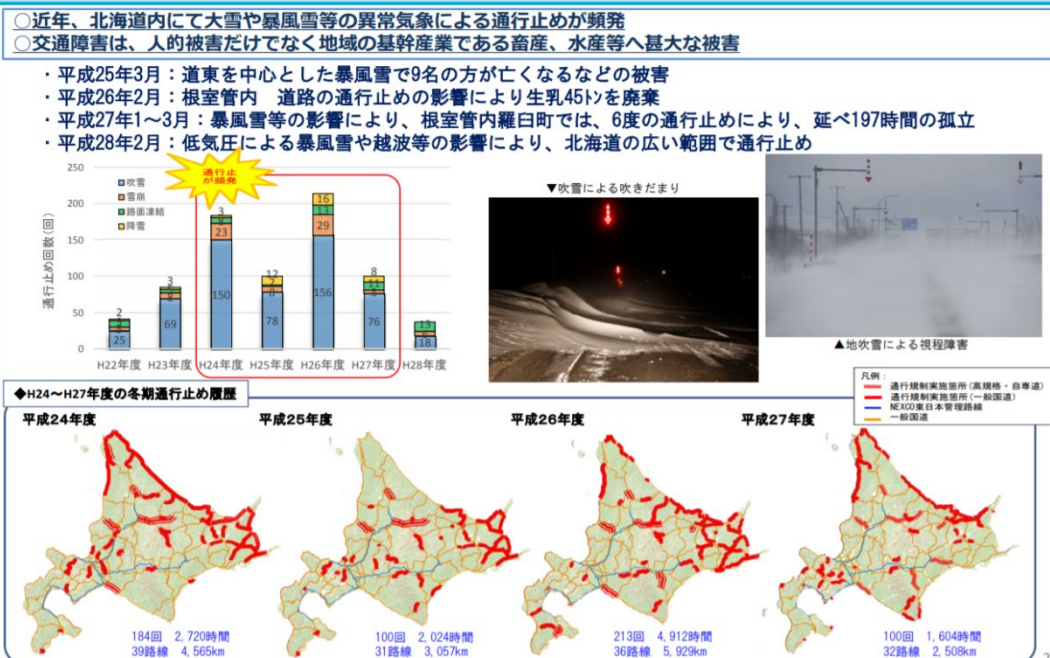
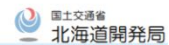


図1.2.2-3 暴風雪の発生に伴う近年の通行止め発生状況について
(国土交通省北海道開発局HPより)

1.2.3. 日本国内の民間事業者における気象レーダーのニーズ

1.2.1. 及び1.2.2. のとおり、異常気象による大規模災害が多発する中で、国内の各事業者は災害対策を進める必要性が高くなっている。特に、気象災害の発生により甚大な被害が発生するリスクがあり、かつ社会的影響の非常に大きい公共交通機関を管理・運用する高速道路事業者、鉄道事業者、航空事業者等においては、対策が急務となっている。このため、各事業者において局地的大雨や竜巻、突風による被害軽減方策の強化について継続的な議論を行い、交通機関の安全確保に向けた各種対策を進めてきている。

これら交通機関の各種対策において重要となっているのは、交通機関の安全確保にとって有用な気象情報の入手である。公的機関による気象情報のみでは、公

公共交通機関の各種対策への活用において、時間・空間解像度のきめ細かさや、各交通機関がそれぞれの運営方針・管理方針などを考慮した対策に直結する情報という観点で課題が残る。このため、各交通機関では気象庁の発表する情報に加え、民間気象事業者に対して各交通機関の運営方針や管理方針に合致した独自の気象情報を求める傾向が強まっている。各交通機関が求める独自の気象情報とは、高速道路や鉄道路線、空港や空路上をきめ細かく気象実況の監視を行い、各交通機関の安全確保に影響する気象現象を早期検知すること、早期検知した場合に速やかに各交通機関に情報提供され、安全確保や危険回避対策の支援に活用できることなどを意味する。このように、高速道路や鉄道路線、空港や空路上などを局地的かつ面的に観測できる気象レーダーによる観測は、各交通機関にとって非常に有用な情報となりうるものであり、気象レーダーのニーズの高まりの代表的な例といえる。以下に、各交通機関における代表的な気象レーダーへのニーズについて記載する（図1.2.3-1、詳細は参考資料2参照）。

○高速道路維持管理向けには、天候の急変（局地的大雨や竜巻、突風を引き起こす発達した積乱雲の予測、冬季におけるあられの予測、地形効果により強まる雨雲や雪雲）や災害対応の重点地域への気象レーダーの配置や、既存気象レーダーのブラインドエリアでの観測

○航空機の運航管理向けでは、空港周辺での雷雲の監視のほか、主にドクターヘリに対し、有視界飛行の妨げになる、峠や山間部の谷筋を通過する雨雲や雪雲を監視するため。

○鉄道の運行管理向けには、運行に支障をきたす竜巻、突風を引き起こす発達した積乱雲を監視するため。

◆高速道路管理における気象レーダー導入前と導入後



図1. 2. 3-1 X帯気象レーダーの実証実験結果 (高速道路)

このような各交通機関を中心としたニーズの高まりに対して、現在実用局として展開、運用されているC帯やX帯 (9.7GHz帯) の気象レーダーのような、公的な目的で広域監視する目的のレーダーのみでは、各交通機関の安全確保や危険回避対策の支援といった特化した要望に答えていくことが難しくなっている。このようなニーズの高まりに対して、現状ではX帯9.4GHz帯の実験試験局として展開している気象レーダーにおいて、民間気象会社が自ら気象レーダーを整備して観測を行い、交通機関のニーズが高速道路や鉄道路線、空港や空路上の付近及び周辺のエリアに対して、実況監視や気象予測にて活用している現実がある。高速道路や鉄道、航空会社などの各交通機関の安全確保や危険回避対策のためには、より局地的で短時間に急変する気象現象の観測が必要だが、C帯やX帯 (9.7GHz帯) の気象レーダーは公的かつ広域の観測を目的とすることから、各交通機関にとって必ずしも適切な観測網とは言えない現状がある。また、無線設備自体の小型化や可搬性が向上し、しかも廉価となってきたこともあり、これらのニーズに対して民間気象会社が独自に展開することが可能となってきた。

これまで見てきた近年の異常気象や災害の傾向から、以下のような課題を見出すことができる。

- ・ 異常気象の原因となる短時間強雨は明らかに増加傾向にあり、かつ今後も増加していくことが懸念されるが、日本における既存の気象観測網が、今後の異常気象増加に対しても確実に観測、検知できるものかどうか、常に最新のデータを元に検証し対策を検討する必要がある。

- ・ 非常に広範囲に災害が発生した事例 (平成30年7月豪雨) や非常に局所的な災害が発生した事例 (平成29年7月九州北部豪雨)、人口密度の低い山間部や過疎地域などでも特異な気象現象により甚大な被害が発生する事例 (平成30年1月福

井豪雪、平成25年2月北海道猛吹雪) など、気象災害が多様化し、かつその影響が大きくなる傾向がある。このため、これらの災害発生を事前に検知できる気象観測網の更なる強化が必要である。

このような災害をもたらす気象現象を早期検知するうえで、雨雲や雪雲の発生～発達を広域かつ早期に検知が可能な気象レーダーに対するニーズは高まっている。このニーズの高まりに応じていくためには、展開が進んでいるC帯やX帯（9.7GHz）帯の公的な気象レーダー（以下「高性能型」という。）だけでなく、ニーズの高い箇所への迅速な設置及び運用が可能な、小型かつ廉価な気象レーダー（以下「汎用型」という。）が必要となる。これらの状況を踏まえ、X帯気象レーダーの周波数帯の位置づけや他システム等との共用条件を含めた技術的条件の検討を行った。この結果を第2章以降で述べる（概要は図1.2.3-2を参照）。

技術的条件(諸元)の分類(案)

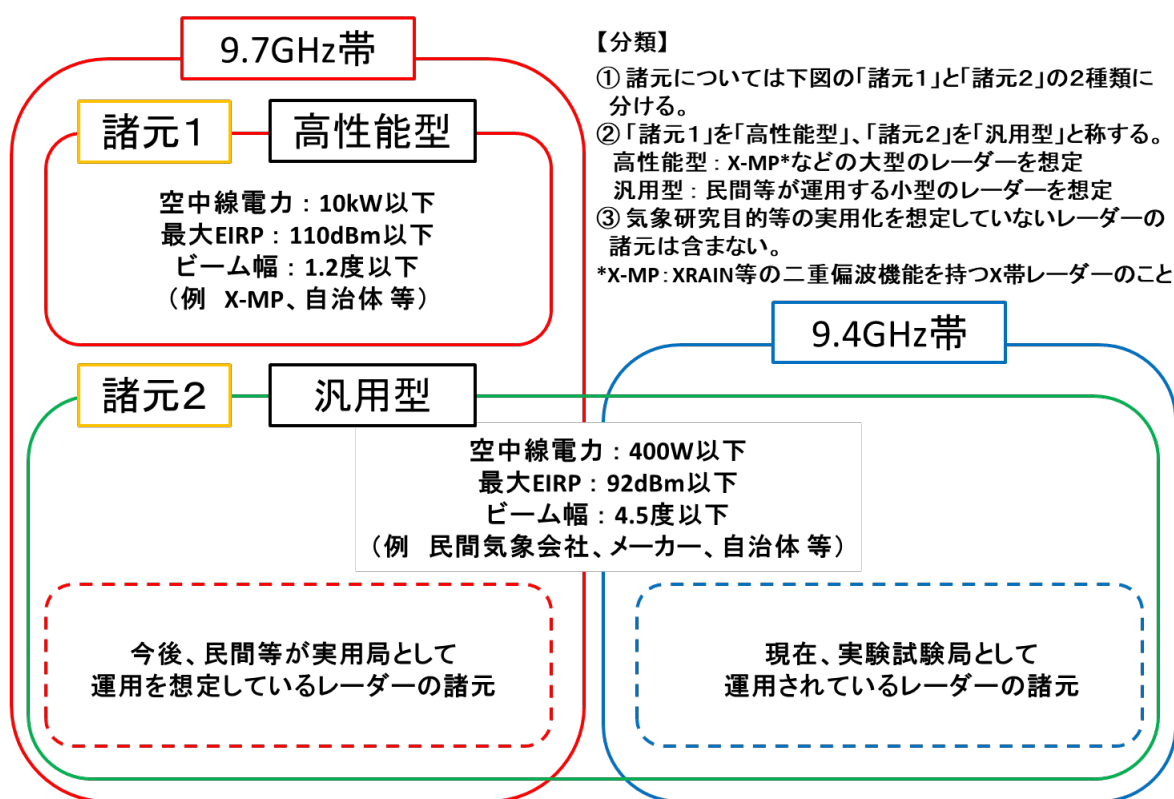


図1.2.3-2 「高性能型」及び「汎用型」の技術的条件の分類

第2章 気象レーダーの現状と動向

2.1. 現在国内で展開されている気象レーダーについて

災害をもたらす気象現象をなるべく早く検知するためには、広範囲での観測が可能な気象レーダーを用いることは非常に有効である。かつ、なるべく少ない台数で日本全国をカバーできる観測網を整備することが、周波数の利用効率の観点から見ても望ましい。このため、我が国では広範囲が観測可能なC帯の気象レーダーを中心に展開を進めてきた。C帯気象レーダーの特徴として、観測半径が気象レーダーから最大400km程度で非常に広範囲な観測が可能であるため、気象庁による予報業務への活用に加えて、国の関係機関や地方自治体、公共インフラ運営企業（電力、ガスなど）、及び一般国民が広く利用できる。また、X帯に比べて降雨減衰の影響を受けにくい特長を生かし、空港に設置して、航空機の離着陸に大きな影響を与える低い高度での風向変動である低層ウィンドシアアの検出にも用いられている。

これに対して、X帯気象レーダーは、アンテナ径を小さくできるのでレーダー本体を小型化することができ、様々な探査方法（高速スキャンやスキャン方法の多様化）を実現しやすい。ただし、送信周波数がX帯であるため、降水による信号の減衰が大きく、観測半径をあまり大きくすることはせず、気象レーダーから半径50～80km程度としている。現在では、X帯気象レーダーの免許人として、国や地方自治体、公共インフラ運営企業に加えて、民間企業でも設置が可能となってきた。

気象レーダーの観測範囲の特徴として、地球の曲率のため、気象レーダーから遠ざかると観測可能な最低高度が徐々に上がる。一般に、気象現象のうち降水を伴い、また、大きな影響を与えるような気象現象は地表付近で発生するため、地表付近での観測が困難になることはなるべく避けたい。そのため、X帯気象レーダーは、広範囲を観測できる気象レーダーの縁辺部での地表付近が観測できないような場所に補完的に設置し、きめ細やかな観測を行うのに向いている。また、地表付近での降水量を正確に推定するためには、なるべく地表に近い高度での雨雲の強さや降水強度から、降水量を推定することで推定誤差が小さくなり望ましい。

また、一般に、波長が短い（周波数が高い）X帯の方がC帯に比べ、粒径が小さい雪に対する感度が高い⁵。このような波長の違いもC帯気象レーダーだけでなくX帯気象レーダーを活用する理由の一つである。

このような現状を踏まえると、日本国内における気象レーダーの展開計画として、C帯気象レーダーで観測が難しい気象現象や範囲について、X帯気象レーダーを展開し観測網を強化していくのが有効と考えられる。

C帯気象レーダー及びX帯気象レーダーそれぞれの現状について、詳細を以下のとおり述べる。

⁵ C帯とX帯の違いについては、波長が違うだけではなく、現在展開されているレーダーの送信出力の違いやパルス長、変調方式といったレーダーシステムの違いの他、C帯は広範囲、X帯は近距離を観測するといった観測範囲の違い等があり、X帯の方が有利な条件が波長のみ依存する訳ではない。

2.1.1. C帯気象レーダー

C帯気象レーダーは、免許人が気象庁や国土交通省、電力会社等により運用されている。C帯気象レーダーの特徴の一つとして、半径数百kmの広範囲での観測が可能であることが挙げられる。このため、台風や低気圧、前線などを要因とする雨雲、冬によく見られる日本海での筋状の雪雲といった、現象のサイズが数百km程度の気象現象の観測を行い、雨雲や雪雲の発生や台風、低気圧の動きを早期検知することに強みを持つ。こうした特徴は、気象庁や国土交通省等の公的機関が国民に対する一般的な気象予測や幅広い気象情報の提供といった目的に合致する。



図2.1.1-1 気象庁東京レーダー（気象庁HPより）

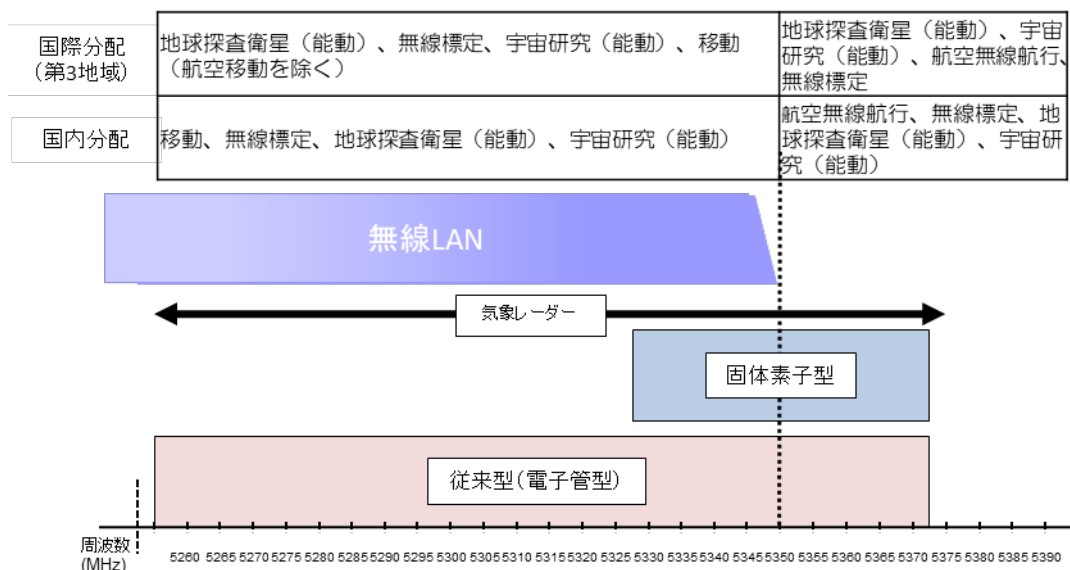


図2.1.1-2 5 GHz帯の周波数割当状況

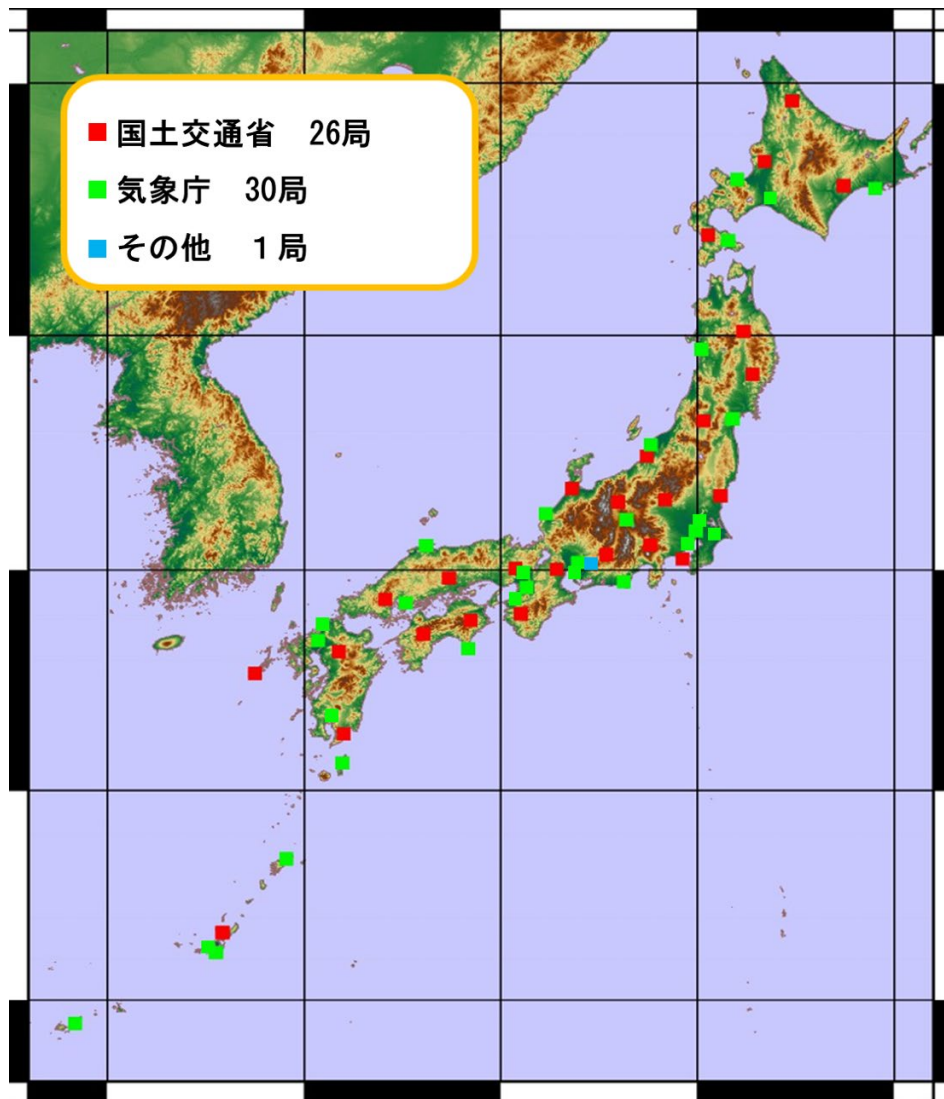


図2.1.1-3 C帯気象レーダーの設置（常置）場所
（令和3年9月末現在）

2.1.2. X帯気象レーダー

X帯で運用している気象レーダーの周波数帯は、9.4GHz帯と9.7GHz帯に分かれている。

9.4GHz帯では主に実験試験局が運用されており、免許人は、大学、研究所といった研究機関や、レーダーメーカー、民間気象事業者等が挙げられる。この周波数帯での他共用システムは、船舶レーダーと航空機用気象レーダーがある。また、BS放送受信設備の中間周波数（IF）信号に対し、9.4GHz帯の無線周波数（RF）信号がイメージ信号として混信することが分かっているため、BS放送受信設備に対しても配慮が必要とされている。

9.7GHz帯では実用局（無線標定陸上局）が運用されており、主な免許人は、国土交通省や地方自治体のほか、鉄道事業者等の公共インフラ運営者である。この周波数帯での他共用システムは、沿岸監視レーダーや波高レーダー等がある。この周波数帯でも9.4GHz帯と同様の混信がCS放送受信設備に対して発生することが知られている。X帯気象レーダーはアンテナ径を小型化できるためアンテナ走査を

高速化しやすく、半径50～80km程度の観測を約1分で行うことができる。これにより、免許人の観測目的に対し、よりきめ細やかな観測が可能となった。ただし、国土全体をカバーする目的で設置されていないため、現在行われている観測範囲は限定されている。

このため、「高性能型」「汎用型」の位置づけを整理し、「汎用型」気象レーダーをX帯（9.7GHz帯）の実用局として展開するうえでの要件と課題を整理して、「汎用型」気象レーダーの実用化を目指すものとする。X帯気象レーダーについては、気象レーダーの観測性能や大きさに合わせ、「諸元1（高性能型）」及び「諸元2（汎用型）」と種別を分け、諸元等の技術的条件を検討することとする。汎用型は9.4GHz帯及び9.7GHz帯両方での利用が想定されており、求められる観測条件及びそれに基づく技術的条件について、周波数帯による違いはないが、9.4GHz帯の汎用型については、他共用システムとの共用検討の結果、諸元が変更、あるいは新たな項目が設定される可能性がある。なお、C帯については高性能型相当ではあるものの、対比する汎用型がないため、高性能型という定義はしていない。

また、9.4GHz帯⁶における他共用システム（航空機レーダーや船舶レーダー等）との共用の在り方と、9.7GHz帯との両周波数帯の位置づけ（使い分け等）を整理することが必要となっている。

さらに、9.7GHz帯高性能型の技術的条件については、現行の審査基準があるため、今回は検討を実施しないこととし、また、9.4GHz帯汎用型は継続検討することとし、今回の検討については9.7GHz帯汎用型の技術的条件とする。9.7GHz帯汎用型気象レーダーについては、制度整備がなされた後、2年間でおおむね50局程度の置局を見込んでいる。

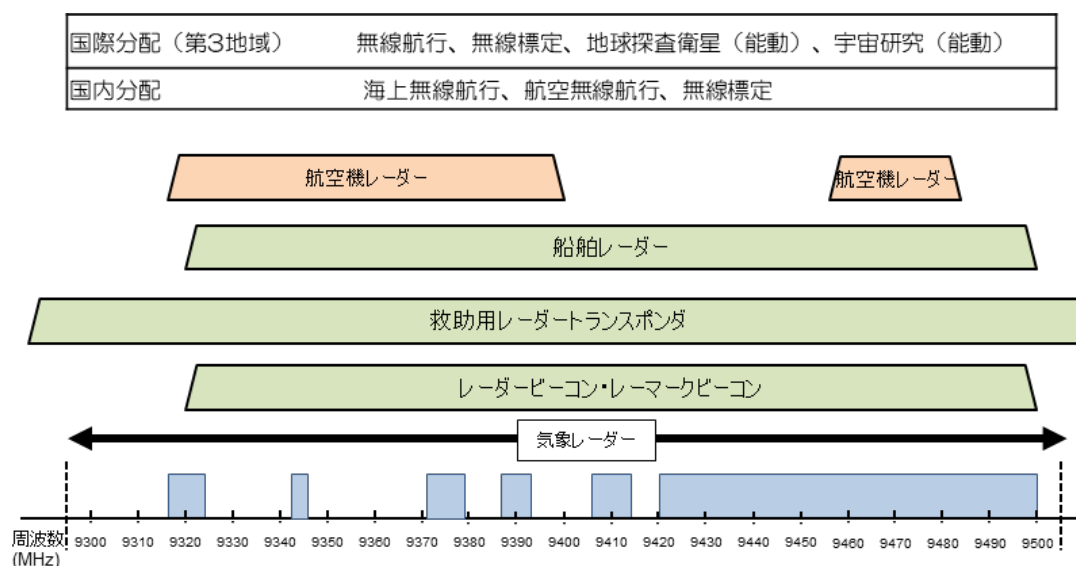


図2.1.2-1 9.4GHz帯の周波数割当状況

⁶ 無線標定業務（気象レーダーを含む。）は、周波数分配上、航空機レーダー及び船舶レーダーよりも劣位にある。

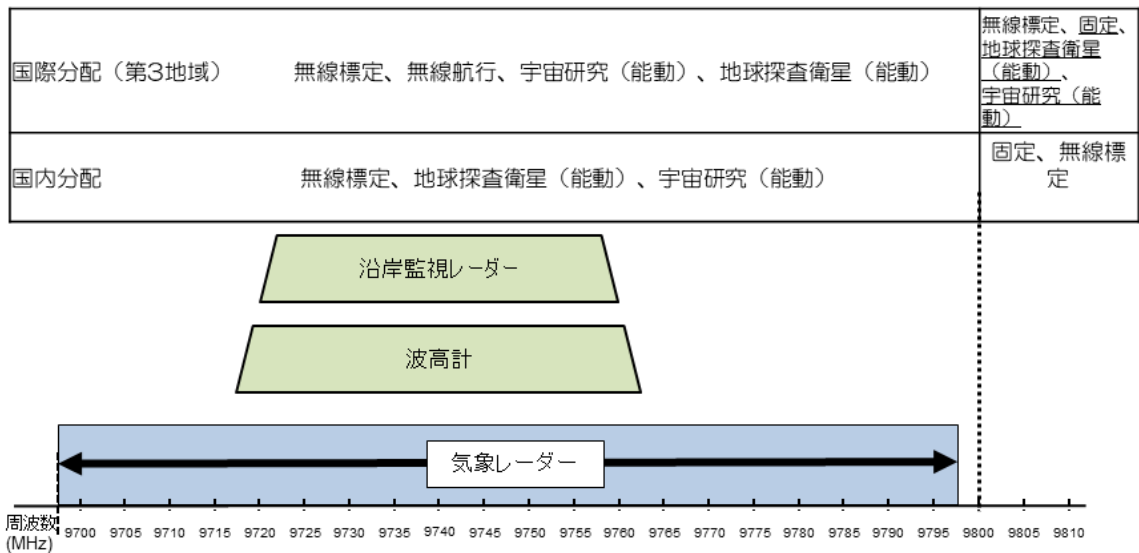


図2.1.2-2 9.7GHz帯の周波数割当状況

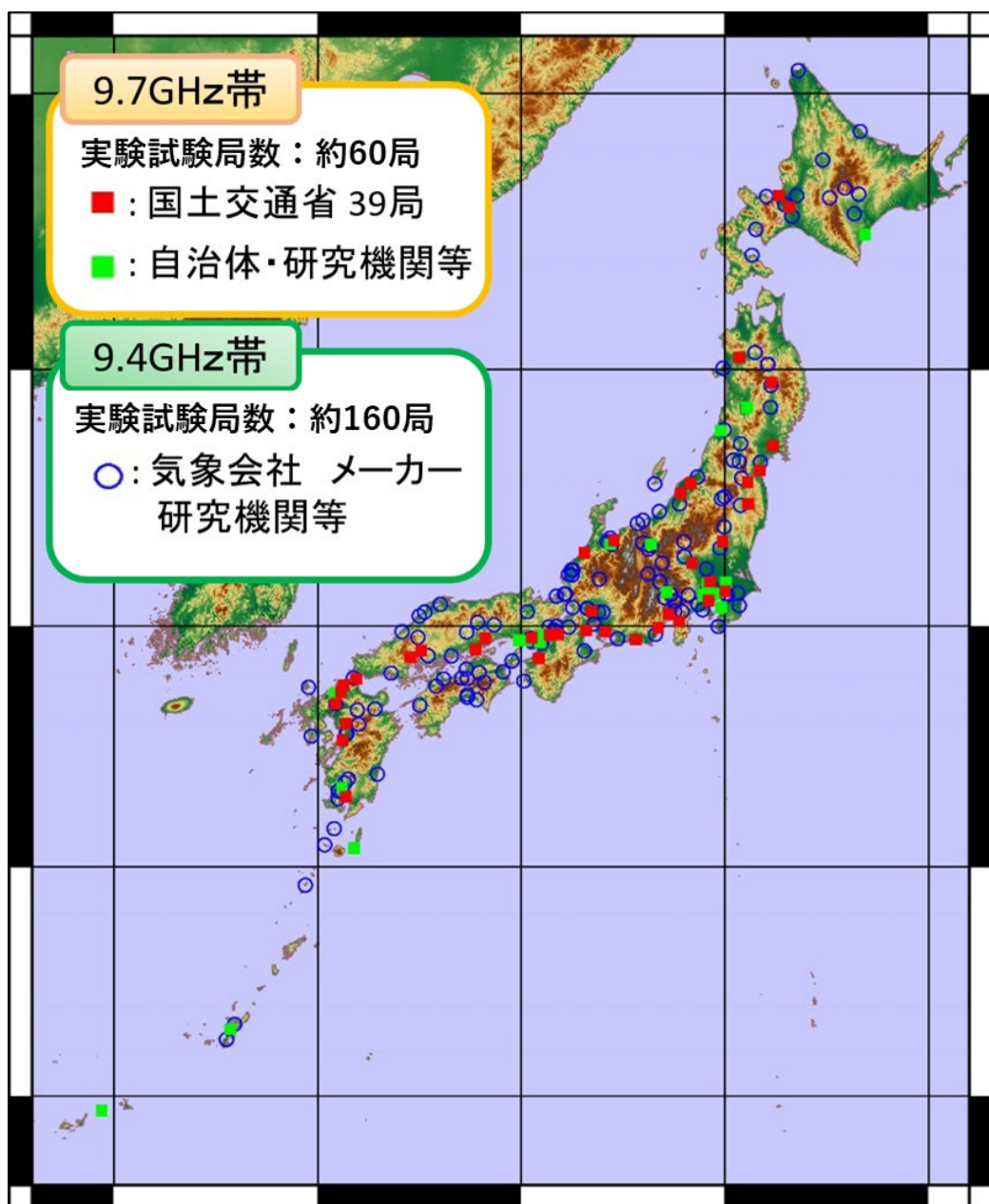


図2.1.2-3 X帯気象レーダーの設置（常置）場所（令和3年9月末現在）

なく、9.7GHz帯を対象とすることが適切である。

9.7GHz帯は、高性能型気象レーダーが全国的に置局されていること、沿岸監視レーダー・波高計で使用されている状況の中で、汎用型気象レーダーの周波数を確保する必要がある。

9.7GHz帯では、空港等に設置して、主に航空機の安全かつ効率的な運航に資するもので、小規模な空港に必ず気象レーダーが設置されるものではないものの、当該レーダーはその用途を踏まえ優先的に周波数割当てを行う必要がある。

9.7GHz帯（割当周波数9700-9795MHz）は、5MHz幅の周波数間隔の場合、20チャンネルがあるものの、将来の汎用型気象レーダーを含め需要を満たすことができる周波数を確保することは困難である。また、空港等への設置以外であって、汎用型気象レーダーについては高性能型や他の汎用型気象レーダーからの混信を許容することにより、全国又は都道府県レベルで必要な場所に設置することができる。ただし、汎用型気象レーダーをこれらの制限がなく市町村レベルでスポット的（個別に各地点）に設置することは、周波数割当てを効率的に行うことができないため困難である。

これらのことを踏まえ、汎用型気象レーダーについては、計画的なスケジュールによりできる限り多くの置局ができるようにすることが望ましく、共用条件を緩和しつつ一定の設置条件等を検討する必要がある。

また、当該気象レーダーで取得した観測データは、周波数が逼迫し汎用気象レーダーの設置ができない状況も踏まえ、第三者に共有することにより当該気象レーダー付近において第三者が他の汎用型気象レーダーの設置する必要がなくなることから、気象レーダーの設置者の責務として求められれば観測データを提供することが望ましい。

このため、9.7GHz帯への周波数割当てを行う設置条件及び用途等を規定することが望ましいと考えられる。

【設置条件】

- ・同一用途で、全国的に設置するもの又は一の都道府県に網羅的に設置するもの
- ・空港等

設置条件の内、全国的に設置するものの定義を、各都道府県に少なくとも1台は設置すること、および高性能型気象レーダーが観測していないエリアとしたうえで、汎用型気象レーダーが高性能型気象レーダーに混信を与えないという条件で試算したところ（詳細は参考資料9参照）、汎用型気象レーダーの設置が困難なのは10府県（宮城県、栃木県、埼玉県、神奈川県、富山県、愛知県、大阪府、奈良県、福岡県、熊本県）であった。原則として、汎用型気象レーダーの目的は、高性能型気象レーダーの補完であることを鑑みると、全国的に設置するものとは、この10府県を除く37都道府県に少なくとも1台設置することとするのが適当である。

【用途等】

通信事項となる用途は限定する必要はないものの、空港等に設置して、主に航空機の安全運航に資するものは、9.7GHz帯で運用すること

- ・原則として高性能型の補完を目的として運用すること
- ・気象レーダーのスケジュールを含む設置計画を有すること
- ・観測データの提供が可能であること

これらについては、気象レーダーのスケジュールを含む設置計画により無線局の免許（再免許）の際に審査することが望ましい。

汎用型における9.4GHz帯と9.7GHz帯の双方で実用化を目指す方向であり、周波数帯による区分けは、以下のとおりとすることが適当である。

項目	9.7GHz帯	9.4GHz帯
免許人	規定しない	規定しない
設置条件	<ul style="list-style-type: none"> ・同一用途で、全国的に設置するもの又は一の都道府県に網羅的に設置するもの ・空港等 	<ul style="list-style-type: none"> ・個別で各地点に設置するもの
用途等	<ul style="list-style-type: none"> ・用途(通信事項)は規定しない※ ・原則として高性能型の補完を目的として運用すること ・導入を行う際に、全国に設置又は一の都道府県に網羅的に設置するスケジュールを含む計画を有すること ・観測データの提供が可能であること 	<ul style="list-style-type: none"> ・用途(通信事項)は規定しない ・無線航行業務のレーダーに有害な混信を与えず、そのレーダーからの保護を要求してはならないこと

※ただし、空港等に設置して、主に航空機の安全運航に資するものは、9.7GHz帯で運用すること

表2.1.2.1-1 汎用型における9.4GHz及び9.7GHz帯の区分け（案）

2.1.2.2. 9.4GHz帯気象レーダー

9.4GHz帯の周波数帯では、実験試験局として9.7GHz帯高性能型気象レーダーの同一諸元の気象レーダー、船舶レーダー及び航空機用気象レーダー等を気象レーダーに転用したレーダー等が運用されている。その目的は、気象現象の観測や、気象レーダーの研究開発のためであり、約100か所に設置（常置）され運用されている。免許人は、レーダーメーカー、研究機関、自治体、民間気象事業者等多岐にわたっている。9.4GHz帯での気象レーダーの実用局化に向けては、9.4GHz帯の一次業務である船舶レーダー及び航空機用気象レーダーとの共用条件の確立が必須である。

9.4GHz帯気象レーダーは、これまでは気象の学術的研究を目的とした用途が主であったが、近年の激甚化する気象災害多発といった気象の変化を受けて、気象災害を防ぐ、あるいは気象災害を減らすための方策としての気象レーダー観測、の位置づけにより、民間企業による試験観測が汎用型気象レーダーを用いて行われるようになった。その結果、汎用型気象レーダーの導入効果やそれに基づくニーズが確認されつつあり、汎用型気象レーダーの技術的条件を検討する運びとなった。

一方、無線標定業務である9.4GHz帯の一次業務である船舶レーダー及び航空機用気象レーダーは、気象レーダーとの共用検討が継続して進められている。

当該周波数帯については、無線標定業務は、無線航行業務に対して周波数分配上、劣位の条件となっており、周波数割当計画では、脚注⁷により混信を与えず、混信を許容することになっている。

このため、9.4GHz帯気象レーダーは、同一周波数帯を使用する船舶レーダー及び航空機用気象レーダーに対し、劣位の条件で運用することとなっており、9.4GHz帯気象レーダーの共用条件が確立するまでは、個別に十分な干渉条件を検討した上で実験試験局による運用を行う。

2.1.2.3. 9.7GHz帯 高性能型気象レーダー

9.7GHz帯においては、比較的広範囲を観測が可能な高性能型の気象レーダーが既に運用されている。高性能型の免許人は、主に国や地方自治体、鉄道事業者などで、降水強度分布といった気象レーダー観測結果はWeb等を通じて一般に公開されていることが多い。免許人の観測目的が防災目的であり、国民においても利用価値が高い情報として活用されているため、9.7GHz帯では、観測性能及び公共性を十分に検討する必要がある。

⁷ 周波数割当計画 国内脚注J198

この周波数帯で運用されている無線標定業務の局は、無線通信規則に従って運用されている無線航行業務のレーダーに有害な混信を生じさせてはならず、そのレーダーからの保護を要求してはならない。また、地上に設置した気象用レーダーは、他の無線標定業務の局に対して優先権を有する。

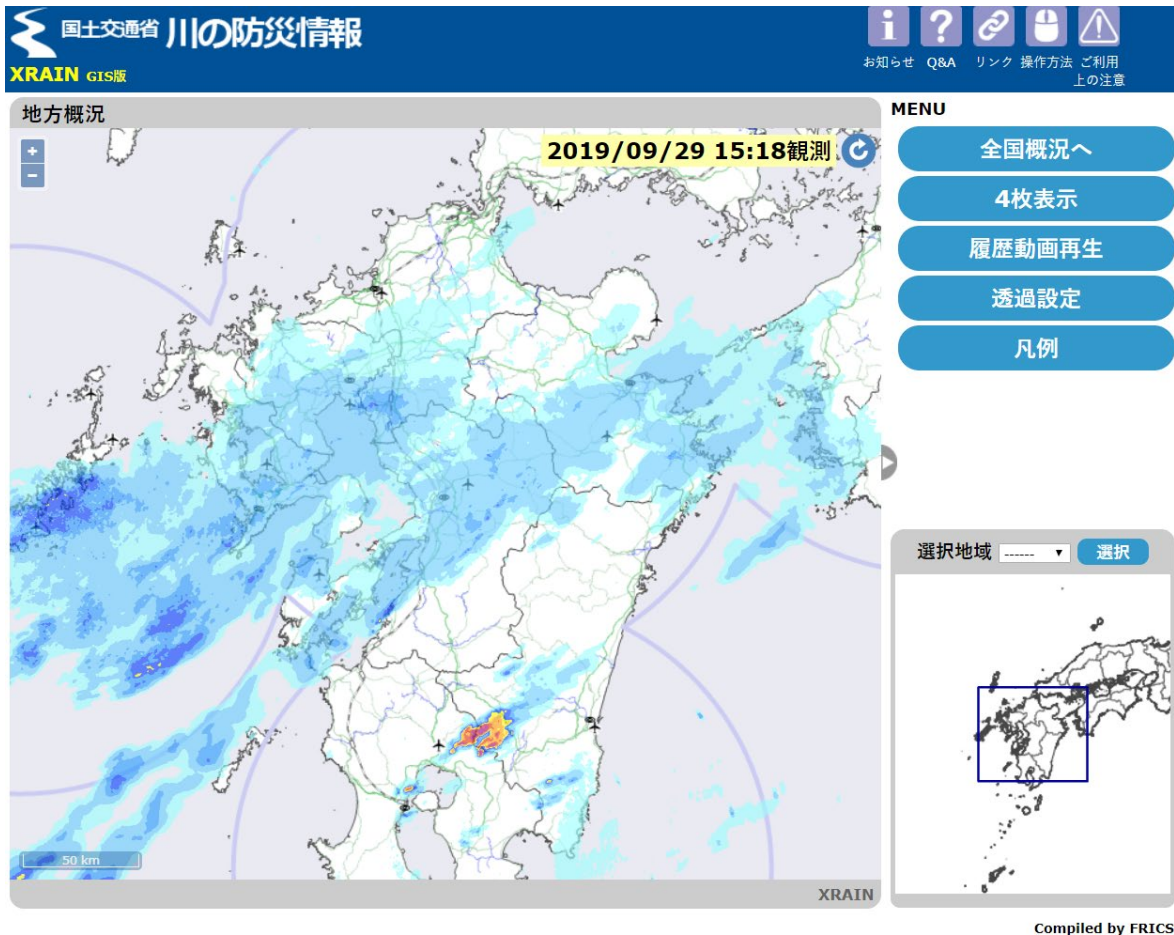


図2.1.2.3-1 国土交通省川の防災情報XRAIN（高性能型気象レーダーの公開例）

2.1.2.4. 諸外国における気象レーダーの利用動向

各国の気象庁等やその他機関が運用する気象レーダーは、約1500台程度とされている。使用周波数帯については、国際気象機関（WMO）のアンケート調査によると、各国の気象庁のレーダー500台につき、55%がC帯、42%がS帯、2%がX帯と推計されている。特に、海外におけるX帯気象レーダーの利用はあまり多くはなく、我が国が先行して実用化を進めている状況である。

海外では、国際電気通信連合無線通信部門（ITU-R）勧告M.1849-2において9.3～9.5GHz帯の諸元がAnnexに3種類記載されているが、9.7GHz帯の位置付けはITU-Rにおいて必ずしも明確ではない。また、国際標準化機構（ISO）はWMOと共同した検討を進め、システム性能や運用等に関する国際標準を示している。その中ではX帯の記載はあるが、ITU-Rと同様に、9.3～9.5GHz帯が対象となっている。

海外におけるレーダーの送信タイプでは、電子管タイプが大勢を占めるが、日本国内では固体素子型の実用化が進んでいる。こういった背景から、固体素子型の気象レーダーに関する諸元等は、現時点において国際機関の標準化に関する文書等に明確に記載されていない状況である。

気象レーダーにおける共用条件として、ITU-R勧告M.1849-2では、妨害波電力対雑音電力比（I/N比）が-10dBとされており、高性能型との混信検討においてはこの値を参照する。

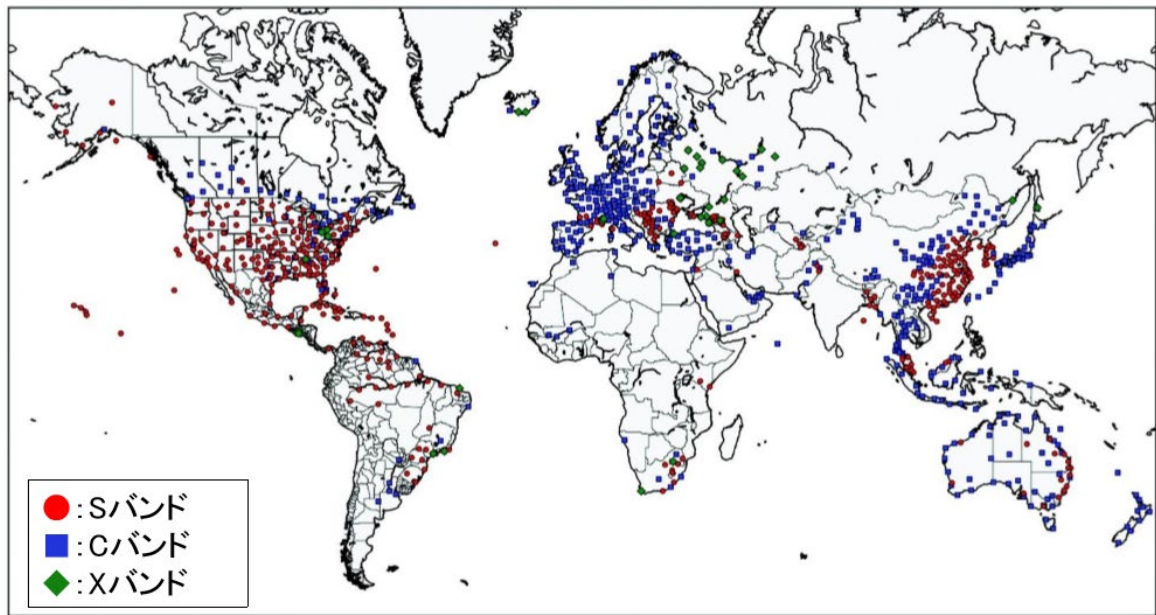


図2.1.2.4-1 気象レーダーの世界的な配置状況
(アメリカ気象学会誌「BAMS」(2016年7月))

2.2. 汎用型気象レーダーの需要

現状、9.4GHz帯又は9.7GHz帯で実験試験局として運用されている気象レーダーのうち、気象レーダーに対する全国的なニーズが明らかになりつつあるものや、空港等の周辺で航空向けの気象情報サービスを展開するニーズ⁸に対し、9.7GHz帯汎用型気象レーダーとして実用局化することが期待されている。仮に現状のニーズから考えて、汎用型気象レーダーを展開した場合、およそ何台程度の需要として存在するか考察する。以下、考察のための条件を列記する。

(1) 高性能型の観測範囲外を補完すること

現在設置、運用されている高性能型気象レーダーは、地上付近の雨量を定量的に観測するため、公的機関が免許人となり観測結果を提供し、観測情報が利活用されている。しかし、観測範囲や観測条件等が制限されていることから、ある特定の気象リスクを抱える民間企業向けに活用する上では未だ気象レーダーに対するニーズが存在する。そのニーズに対応すべく、汎用型気象レーダーの設置は、高性能型気象レーダーでは観測が難しい、標高1000m以下の低層を観測できる場所を想定する。

(2) 道路、鉄道、航空などの公共交通機関を監視が可能なこと

道路、鉄道、航空といった各公共交通機関は、気象レーダーに対するニーズがある。(1)の高性能型の観測範囲外で、各公共交通機関が存在するエリアにおいては、気象レーダーのニーズがあるエリアと考えることができる。特に、空港は航空機における気象リスクの高さもあり気象レーダーのニーズも高いため設置個所としてニーズが高い。

(3) 人口密度の少ないエリア及び山間部も対象とする

⁸ 9.4GHz帯の航空機用気象レーダーとの干渉を避けるため、9.7GHz帯高性能型気象レーダーに対して干渉を与えない等の条件のもとでの展開となる。

第1章において述べたとおり、近年多発する災害発生の傾向から、気象レーダーで観測できないエリア（ブラインドエリア）となりやすい山間部や、高性能型気象レーダーの観測対象外となっている、人口密度が低く公共交通機関も少ないエリアでも、甚大な災害が発生する可能性は否定できない。これらのエリアにおける気象レーダーのニーズを満たすため、重点的に汎用型気象レーダーを展開することが考えられる。

以上を考慮すると、汎用型気象レーダーの需要は250か所程度存在すると考えられる。

第3章 汎用型気象レーダーの要求条件

前章において整理した我が国の気象レーダーに関する現状と気象リスクへの対策の必要性の観点から、気象レーダーとして気象現象を把握するためには、雨や雪の強さ、その雨や雪の水平分布、雲の中の雨雪分布、雨雲や雪雲の移動速度を観測出来る必要がある。そのための要求条件について検討する。

気象レーダーは、今後も増加する気象リスクへの備えとして、ますます利用されていくことが想定される。増加傾向の局地的大雨（いわゆるゲリラ豪雨）や大規模な水害の増加等を受け、そうした気象現象を観測できること、また、こうした気象現象の前兆現象を観測できること、気象予測への精度向上には全国くまなく観測すること、気象レーダーの特性として山間部やレーダーから遠く離れたレーダー波が届かない地域では、観測できないおそれがあるため、そうした地域での観測も可能な小型なレーダーであることが求められる。このような気象レーダーの用途は、公的主体による国土の維持管理と、一般企業による公共インフラ・公益事業の維持管理と社会活動の安全・安心を支えることが見込まれる。

これらを踏まえた気象レーダーの要求条件を表3-1にまとめる。

表3-1 X帯気象レーダーの要求条件

項目	項目詳細	根拠
探知対象	<ul style="list-style-type: none"> 雨・雪等の空間分布が捉えられること 雨・雪等の強さが捉えられること 雨・雪等の動きが捉えられること 降水強度がより高精度に捉えられること 雨・雪等の区別をするための融解層が捉えられること 雨・雪等の種類が捉えられること X帯の電波は降雨減衰を受けるため、降雨減衰しても雨・雪等の観測が可能となること 	<p>雨・雪等の詳細な特徴を捉えるため、空間分布やその強さ、動きを捉えることが必要である。</p> <p>また、降水強度をより高精度に捉え、雨・雪等の区別をつけられる他、その種類も捉えることができることも望ましい。</p> <p>X帯の電波は降雨減衰するため、探知対象を正確に捉えるための技術的な条件が求められる。</p>
探知範囲	<ul style="list-style-type: none"> 雨雲・雪雲の動きが追尾できるような探知範囲となること <p>具体的には、レーダーからの距離が30～80 km</p>	<p>最大探知範囲は、交通機関が一定の路線を十分観測できる道府県相当の広さ、又は地方自治体が周辺の市町村も入る広さとする。</p> <p>下限の探知範囲は、局地的大雨をもたらす積乱雲（現象のサイズ：数km前後、現象の寿命：1時間、移動距離：30～40km程度）の観測ができる広さとする。</p>
距離分解能	<ul style="list-style-type: none"> 竜巻・突風・ウィンドシアーといった交通機関に影響があり得る現象を捉えることができる分解能であること 積乱雲が検知できる、2 km程度の分解能を持つこと <p>具体的には、距離分解能が100～500 m</p>	<p>ウィンドシアー検知のためには、距離分解能150mは必要である。また、積乱雲が検知できる、2 km程度の空間分解能を持つことが求められる</p>
探知性能	<ul style="list-style-type: none"> ある探知範囲で一定強度以上の降水強度が検知できること 	<p>探知範囲内で、降水強度が（用途により）0.5mm/hr又は1mm/hr以上の雨が検知できることが求められる。</p>

3.1. 気象レーダーに求められるパラメータ

気象レーダーとして、気象現象を把握するためには、雨や雪の強さ、それらの分布、移動速度を観測する必要がある。雨や雪の強さとしては、アメダスにて、最小0.5mm/hrから観測が可能であり、気象レーダーとして高性能な観測を行うために、最小限必要な性能である。

雨や雪の強度分布としては、水平分布が天気予報等で一般に用いられている。また、予報や現象の解析には、高度方向を加えた3次元分布や、雲の発達や衰弱傾向、移動方向の把握にも用いられている。

これらの現象を把握するために必要なパラメータをまとめると表3.1-1のようになる。

表3.1-1 気象レーダーに求められるパラメータ

従来の気象レーダーで観測できるパラメータ		偏波レーダーで観測できるパラメータ	
反射強度	Z	反射因子差	Z_{dr}
		偏波間相関係数	ρ_{hv}
ドップラー速度	V_r	偏波間位相差	ϕ_{dp}
		偏波間位相差変化率	K_{dp}

気象現象を把握するために必要な要素について、観測できるパラメータと対応させると、表3.1-2のようになる。

表3.1-2 気象レーダーにて観測できるパラメータ

気象パラメータ	雨や雪の強さ	雨や雪の分布	雨や雪の移動速度
対応するレーダーパラメータ	Z, Z_{dr}, K_{dp}	$Z, Z_{dr}, \rho_{hv}, K_{dp}$	V_r

これらのレーダーパラメータを精度よく観測出来れば、気象現象の正しい把握につながる。

偏波レーダーで観測できるパラメータの活用事例としては、偏波パラメータを用いて以下のようなプロダクトが生成され、実際の気象現象の把握に活用されている。

- ・ $K_{dp} - R$ 関係式による降雨強度 R 推定
反射強度 Z との関係 ($Z - R$ 関係式) のみによる推定よりも、高精度で推定可能。
- ・ ρ_{hv} を用いた融解層の検出
雨と雪の境目である融解層の存在やその高度を観測可能。
- ・ 降水粒子判別
偏波レーダーで観測された種々のパラメータや気温などの環境条件から、雨、雪、あられ等の降水粒子の種類を判別。

3.2. 高性能型、汎用型に求められる要求条件の違い

高性能型と汎用型において求められる気象レーダーの要求条件の違いは、以下のとおりである。

① 高性能型

高性能型気象レーダーでは、国や自治体、鉄道事業者などがその業務上公共性の高い目的で観測を行う。そのため、公的目的を達成する観測範囲を広くカバーすることや、目的に合致した観測対象を観測することができるなど、多岐にわたる目的をカバーできる要求条件がある。

この高い要求条件があるため、混信保護条件を厳しくする必要がある。

② 汎用型

局地的大雨（いわゆるゲリラ豪雨）や短時間強雪、突風、竜巻などの局地的、突発的な気象現象を観測できること。また、それらの気象現象を、公的な気象レーダーの観測範囲外に当たる山間部やブラインドエリアなどでも観測可能とするため、小型かつ設置も容易な気象レーダーであることが、要求条件として重要である。

この要求条件を満たすためには、混信条件は可能な限り緩くする代わりに、高性能型気象レーダーの運用に妨害を与えないよう運用することが望ましい。

汎用型の中でも、水平偏波のみを用いる単偏波タイプと、水平偏波及び垂直偏波を用いる二重偏波タイプがある。それぞれのメリット、デメリットについてまとめると表3.2-1のようになり、単偏波タイプ、二重偏波タイプそれぞれ、要求条件に合わせて用いることとする。

表3.2-1 単偏波タイプ及び二重偏波タイプのメリット、デメリット

	単偏波タイプ	二重偏波タイプ
メリット	<ul style="list-style-type: none"> 送受信システムが一つで済み、無線機の構造が簡単化し軽量化できる 反射強度のパラメータは他からの混信に対する耐性が比較的高い 観測範囲を重複させながら配置し協調観測をする際には、お互いの混信条件を緩めることができ、無線局を近接して多数配置することが可能 	<ul style="list-style-type: none"> 偏波パラメータにより、降水強度が精度よく推定できる 偏波パラメータにより、雨・雪等の判別が可能 高性能型の補完という意味では、二重偏波機能を持つことが望ましい
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> 反射強度のパラメータよりも偏波パラメータを用いた方が、降水強度の推定が精度よくできる 	<ul style="list-style-type: none"> 偏波パラメータを精度よく推定するためには、両送受信機の特性を合わせ、交差偏波抑圧度の高いアンテナを使用する等の高い技術が必要 他無線局からの混信を受けると偏波パラメータを推定することが困難になるため、他局からの混信に対する保護が必要

3.3. X帯気象レーダーに求められる技術的条件

X帯気象レーダーとして求められる要求条件に対し、X帯気象レーダーの技術的条件についてまとめると以下のとおりである。

3.3.1. 探知対象

探知対象について、それぞれ求められる要求条件に対するX帯気象レーダーの技術的条件は表3.3.1-1のようになる。

表3.3.1-1 探知対象に対する技術的条件

要求条件	技術的条件	
	技術的条件の項目	詳細
雨・雪等の空間分布が捉えられること	<ul style="list-style-type: none"> 観測パラメータ（反射強度） アンテナスキャンの方法 	<ul style="list-style-type: none"> 反射強度のパラメータを取得すること アンテナスキャンは空間をカバーできるよう、PPI（Plan Position Indicator）スキャンやRHI（Range Height Indicator）スキャンで三次元的にスキャンすること アンテナは回転しながら観測すること 複数レーダー協調観測の周波数利用効率を上げるため、送信管には固体素子を用いること
雨・雪等の強さが捉えられること	<ul style="list-style-type: none"> 観測パラメータ（反射強度） 複数レーダー協調観測 	<ul style="list-style-type: none"> 反射強度のパラメータを取得すること アンテナスキャンは空間をカバーできるよう、PPIスキャンやRHIスキャンで三次元的にスキャンすること 比較的近距离で複数台のレーダーによる観測を行うこと 複数レーダー協調観測の周波数利用効率を上げるため、送信管には固体素子を用いること
雨・雪等の動きが捉えられること	<ul style="list-style-type: none"> 観測パラメータ（ドップラー速度） 複数レーダー協調観測 パルス繰り返し周波数（PRF） 	<ul style="list-style-type: none"> ドップラー速度のパラメータを取得すること 比較的近距离で複数台のレーダーによる観測を行うこと 複数レーダー協調観測の周波数利用効率を上げるため、送信管には固体素子を用いること PRFを概ね5kHz以下とし、2種類のPRFを利用した折り返し補正を行う等の観測を行うこと
降水強度がより高精度に捉えられること	<ul style="list-style-type: none"> 偏波レーダーで観測できるパラメータ 交差偏波抑圧比 	<ul style="list-style-type: none"> 偏波レーダーで観測できるパラメータを取得すること
雨・雪等の区別をするための融解層が捉えられること	<ul style="list-style-type: none"> 観測パラメータ（反射強度） 偏波レーダーで観測できるパラメータ 交差偏波抑圧比 	<ul style="list-style-type: none"> 反射強度のパラメータ及び偏波レーダーで観測できるパラメータを取得すること
雨・雪等の種類が捉えられること	<ul style="list-style-type: none"> 偏波レーダーで観測できるパラメータ 交差偏波抑圧比 	<ul style="list-style-type: none"> 偏波レーダーで観測できるパラメータを取得すること

<p>X帯の電波は降雨減衰を受けるため、降雨減衰しても雨・雪等の観測が可能となること</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 複数レーダー協調観測 	<ul style="list-style-type: none"> ・ レーダーの観測範囲を重複させ、一方が降雨減衰により観測できない際に他方でカバーできるような配置とすること ・ 複数レーダー協調観測の周波数利用効率を上げるため、送信管には固体素子を用いること
--	--	--

3.3.2. 探知範囲

探知範囲について、それぞれ求められる要求条件に対するX帯気象レーダーの技術的条件は表3.3.2-1のようになる。なお、高性能型と汎用型（2タイプ）により、求められる要求条件とその技術的条件が異なる。

表3.3.2-1 探知範囲に対する技術的条件

気象レーダーのタイプ	要求条件		技術的条件	
	要求条件の項目	値	技術的条件の項目	詳細
高性能型	雨雲・雪雲の動きが追尾できるような探知範囲となること	半径60～80km	<ul style="list-style-type: none"> ・ 観測範囲 ・ PRF ・ 等価等方輻射電力 (EIRP) ・ アンテナスキャンの方法 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 半径60～80kmを観測できること ・ 最大EIRPを110dBm（二重偏波）とすること
汎用型		半径30km		<ul style="list-style-type: none"> ・ 半径30kmを観測できること ・ PRFを概ね5kHz以下とし、必要な観測範囲を確保すること ・ 最大EIRPを89dBm（単偏波）あるいは92dBm（二重偏波）とすること

3.3.3. 距離分解能

距離分解能について、それぞれ求められる要求条件に対するX帯気象レーダーの技術的条件は表3.3.3-1のようになる。なお、高性能型と汎用型により、求められる要求条件とその技術的条件が異なるものがある。

表3.3.3-1 距離分解能に対する技術的条件

	要求条件	技術的条件

気象レーダーのタイプ	要求条件の項目	値	技術的条件の項目	詳細
高性能型 汎用型	竜巻・突風・ウィンドシアアといった交通機関に影響があり得る現象を捉えることができる分解能であること	ウィンドシアア検知のためには、距離分解能150mは必要	<ul style="list-style-type: none"> 距離分解能 パルス幅 	距離分解能150mを実現するため、PONではパルス幅を1usとし、QONではチャープ幅やOBW、窓関数を適切に設定すること
高性能型	積乱雲が検知できる、2 km程度の空間分解能を持つこと	-	<ul style="list-style-type: none"> アンテナサイズ (ビーム幅) 	アンテナビーム幅を1.2度以下とすること
汎用型				アンテナビーム幅を4.5度以下とすること

3.3.4. 受信感度

受信感度について、それぞれ求められる要求条件に対するX帯気象レーダーの技術的条件は表3.3.4-1のようになる。なお、高性能型と汎用型により、求められる要求条件とその技術的条件が異なる。

表3.3.4-1 受信感度に対する技術的条件

気象レーダーのタイプ	要求条件		技術的条件	
	要求条件の項目	値	技術的条件の項目	詳細
高性能型	ある探知範囲で一定強度以上の降水強度が検知できること	半径80km以内で1m m/hrの雨が検知できること	<ul style="list-style-type: none"> EIRP 	<ul style="list-style-type: none"> 半径80km以内で反射強度23dBZが検知できること 最大EIRPを110dBm (二重偏波) とすること
汎用型		半径30km以内で1m m/hrの雨が検知できること		<ul style="list-style-type: none"> 半径30km以内で反射強度23dBZが検知できること 最大EIRPを89dBm (単偏波) 又は92dBm (二重偏波) とすること

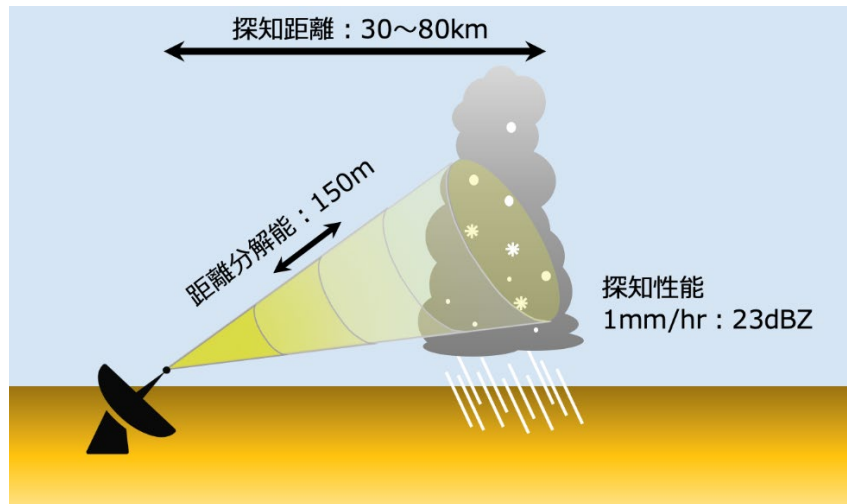


図3.3.4-1 汎用型の要求条件イメージ
(探知対象・探知範囲・距離分解能・探知性能)

3.4. 汎用型気象レーダーが求められる背景

3.3.にて整理した高性能型と汎用型にて求められる要求条件と、第2章にて整理した気象レーダーに対するニーズの現状と動向から、汎用型の気象レーダーが求められる背景について整理すると以下のとおりとなる。

3.4.1. 観測の目的

高性能型の気象レーダーの観測目的は主に公的な観測や研究目的である。これは、ある特定の民間企業や個人ではなく、我が国の国民に対して等しくその価値を提供する目的で設置、運用されている、ということの意味している。具体的には、C帯の気象レーダーは広域な観測が可能であり、我が国すべてのエリアをカバーして観測することを目的に実施しているが、ある特定の民間企業や個人の気象リスクへの対策を目的に観測は行っていない。また、X帯(9.7GHz帯)を利用した気象レーダーは、国土交通省X-MPは主に人口の多いエリアを中心の観測であり、自治体気象レーダーもその当該自治体の範囲を観測することを目的としている。この一例として、気象庁と民間気象事業者との関係性については図3.4.1-1に示すとおりで、気象庁は公共性の強い情報提供を行うことを目的としており、民間気象事業者は高度化、多様化するニーズに対してきめ細かく付加価値の高い気象情報を提供する、という役割分担になっている。

このため、ある特定の民間企業や個人が自らの気象リスクへの対策や課題解決のため、公的な機関が展開、運用する高性能型のレーダーは必ずしも適切な解決策となっていないのが現状である。

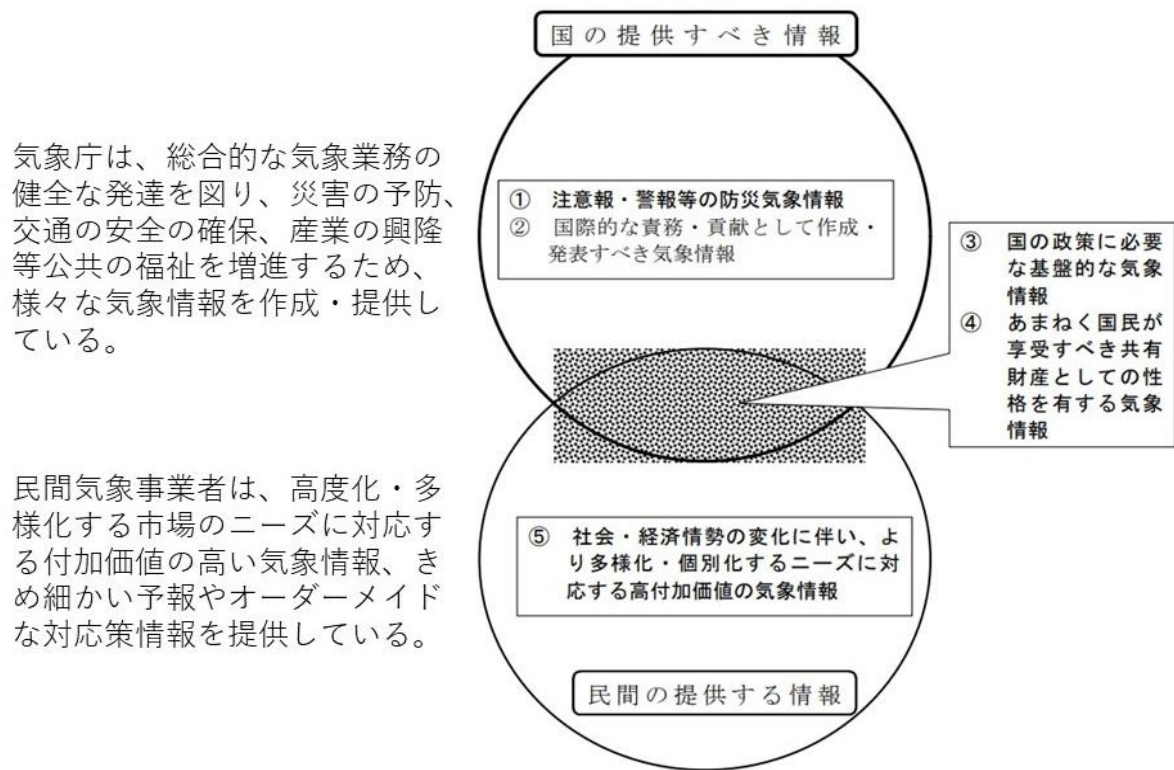


図3.4.1-1 気象庁の提供すべき情報と官民の役割分担
(出典 気象庁 気象審議会第2回総合計画部会 資料より作成)

3.4.2. 局地的かつ急変する気象現象を観測する目的

図3.4.2-1に示すとおり、気象現象は空間スケールおよび現象の寿命によって分類することが可能である。現象の広がりが多いほど広範囲かつ長時間に亘り影響を及ぼし、現象の広がりが多いほど影響は局地的かつ短時間である。昨今多発する局地的大雨等は現象の広がりが多いが、現象の寿命は小さいが、強雨をもたらす大きな被害をもたらすことがある。

ある特定の民間企業や個人における気象リスクとは、非常に局地的かつ急変する現象であり、例えば、わずか数km以内かつ1分以内に急変現象（局地的大雨、強雪、突風など）が起こると、高速道路や鉄道における事故や通行止め、運転見合わせ等が発生するため、これらの現象に対応できる観測網を整備し、対策を講じることが求められている。

現状わが国では、C帯気象レーダー及びX帯（9.7GHz）高性能型気象レーダーが配備されているが、C帯気象レーダーは広範囲（数百km）を観測する目的があるため観測時間が長く（5分）なり、X帯（9.7GHz）高性能型気象レーダーは配備されている箇所が未だ限られており、求められている対策を講じることができているとは言い難い状況にある。

高速道路や鉄道への気象リスク対策に必要な点として、そのリスクが生じる可能性がある路線に集中した観測が行えること、数km以内かつ1分以内で急変する気象現象を観測できること、が挙げられ、検討を行っている汎用型気象レーダーについてはカバー率だけではなく、空間的及び時間的に高い分解能の観測が可能であることが望ましい。

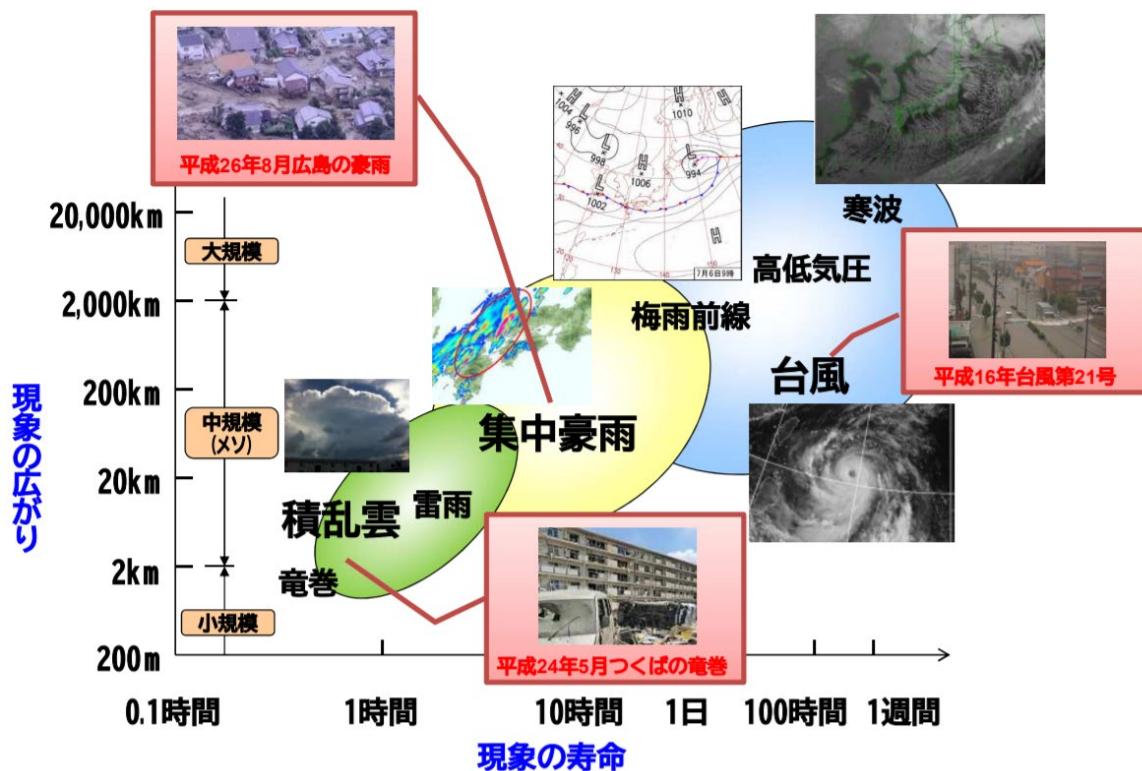


図3.4.2-1 気象現象の寿命と現象の広がり関係図
 (出典 国土交通省 交通政策審議会第20回気象分科会 資料)

気象レーダーのニーズはすでに顕在化しており、C帯気象レーダーを用いるだけでなく、X帯の高性能型気象レーダーで未だカバーできていないエリアに対し、汎用型気象レーダーを展開し観測を行えるようにすることで、様々な気象レーダーに対するニーズに応えることができるため、汎用型気象レーダーの技術的条件の検討を速やかに行う必要がある。

3.5. 汎用型気象レーダーの観測手法

汎用型気象レーダーの観測手法の条件について検討する。

3.5.1. 送信波の特徴

パルスレーダーは一般に、送信中は受信できないという特性を持つ。また、パルス幅を長くすると（おおむね10～100 μ sが使われる）、感度を維持したまま尖頭電力を下げるができるが、パルス幅が長いとレンジ方向の分解能が悪化するため、パルスに対してチャープ変調を掛け（QON）、レンジ方向の分解能の改善を図る。

一方、パルス幅が長いと、レーダー近傍が観測できない（ブラインドレンジと呼ばれる）ため、レーダー近傍については、無変調パルス（PON）にて観測する。概念図を図3.5.1-1に示す。

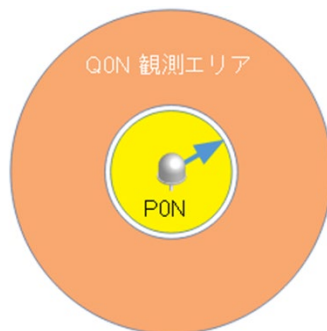


図3.5.1-1 観測エリアと対応する電波型式

3.5.2. 空中線の走査方法

気象レーダーは、パラボラアンテナ等のペンシルビームを有するアンテナを用いるのが一般的であり、雲の全体構造を捉えるためには、アンテナの仰角や方位角を変化させながら空間走査（スキャン）するのが一般的である。代表的な走査方法を図3.5.2-1に示す。

図3.5.2-1のPPIスキャンとRHIスキャンについて、それぞれの特徴は次のとおりである。

○PPIスキャン

仰角を一定とし、方位角を変化させて観測を行う。広範囲での雨量の推定、降雨・降雪域の水平方向の広がりやその移動方向を観測し、短時間降水予測に活用する。

○RHIスキャン

方位角を一定にし、仰角を変化させて観測を行う。今後、雲が発生するのか衰弱するのか、降水・降雪が今後どの程度の強度となると見込まれるか、雨雲や雪雲の鉛直構造がどのようになっているのか、降水相（雨か雪か、あられかひょうか、という降水の性質の違い）の変化などを観測する。

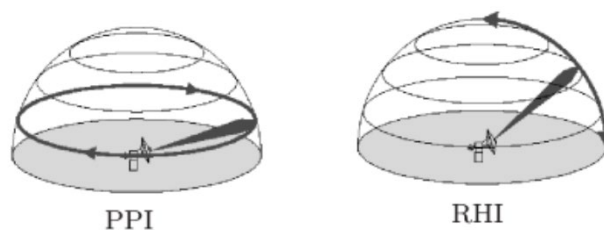


図3.5.2-1 アンテナ走査とデータ抽出空間の例 左：PPI、右：RHI
(出典 深尾、浜津 (2005) 気象と大気のレーダーリモートセンシング)

3.5.3. ドップラー速度観測

ドップラー速度を観測する場合、PRFから決定する折り返し速度以上の風速を正しく観測することはできない。つまり、広範囲の観測を行うためには、低PRFを必要とするが、この時の観測速度上限は低下する。逆も同様で、高速度のドップラー速度を行う場合は、PRF上限が制限され、探知距離が制限されてしまう。

これらの問題を改善するために、2種類のPRFを使い分けて観測すると、ドップ

ラーの速度の折り返し速度がPRF毎に変化するために、折り返し効果の補正が可能となる。気象レーダーでは、この二重PRF法が広く用いられている。PRFの変化方法には二種類あり、ある角度幅内で同じPRFを用いるグループスタガ方式と送信毎にPRFを切り替えるパルススタガ方式が用いられている。

表3.5.3-1 X帯気象レーダーにおける典型的なPRFと観測範囲及び折り返し速度との関係

PRF	観測範囲	折り返し速度
2 kHz	～ 75 km	～ 16 m/s
3 kHz	～ 50 km	～ 24 m/s
5 kHz	～ 30 km	～ 38.5 m/s

3.5.4. 複数台のレーダーによる協調観測

汎用型レーダーは小型のものを想定しており、高性能型に比べて、高密度配置が容易である。このため、高密度配置した場合に得られる効果は汎用型レーダーを展開する目的として重要な意味を持つ。ここでは、その具体的な効果と、その効果を発揮するための観測手法として、複数台のレーダーによる協調観測について述べる。

ドップラー解析を行う上で、1台のレーダーのみでは観測対象に対して、レーダーを中心とする放射線状に沿って1次元速度しか観測できない。一方、複数のレーダーのドップラー速度の観測データをベクトル合成することで、2次元、3次元の風の分布を求めることができる。これをデュアルドップラー解析という。この解析を行うためには、気象レーダー同士の観測範囲がなるべく重なること、気象レーダー同士の定常的な混信が少ないことが必要である。

2台のレーダーを用いたデュアルドップラー解析の模式図を図3.5.4-1に示す。

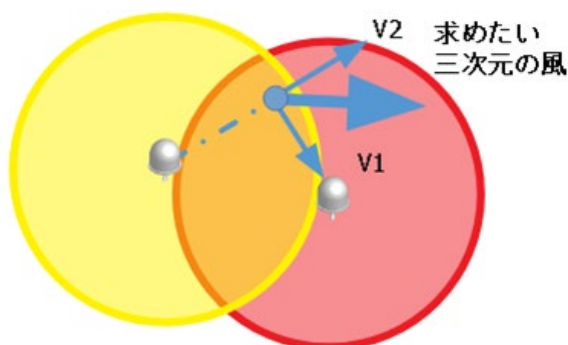


図3.5.4-1 デュアルドップラー解析の模式図

出典 杉本 (2007) ドップラーレーダーを主としたリモートセンシング観測値の3次元変分法によるデータ同化と短時間降水予測手法の高度化に関する研究

また、特にX帯では降雨減衰が大きく、局地的大雨の場所とレーダー設置場所との関係によっては、局地的大雨の裏側を観測できないという課題がある。空中線の大型化や送信機の高出力化によって、多少の改善は可能であるが根本的には別

のレーダーを用いて補完する必要がある。この観測手法により、降雨減衰による観測範囲が制限されている場合の補完が可能となる。概略を図3.5.4-2に示す



図3.5.4-2 降雨減衰時の観測の補完

3.6. 気象現象把握に必要な汎用型気象レーダーの諸元

3.6.1. 距離分解能

局地的大雨をもたらすような発達した積乱雲の大きさは水平方向で約1～2kmであるため、この積乱雲の構造を適切に把握するためには、より細かい分解能(10分の1程度)で観測する必要がある。また、航空機の運航に影響を及ぼすウィンドシアアを検出するためには、距離分解能はX-MPと同等の150mとする。

PONの距離分解能はパルス幅で決まり、150mの場合は $1\mu s$ となる。また、このときの標準的な受信帯域幅は1.2MHz程度である。

QONの距離分解能は変調帯域幅で決まり、その下限は変調帯域の逆数と等しいパルス幅で規定され、150mの場合は $1\mu s$ の逆数の1MHzとなる。実際はレンジサイドローブや帯域外発射を低減する目的で、これより広い変調帯域が用いられている。詳細は各社の設計に依存するが、概ね1～2MHz程度である。

3.6.2. 探知範囲

局地的大雨をもたらすような積乱雲の発生・発達・衰弱過程に要する時間(雲の寿命)は概ね1時間程度である。よって、雲の寿命と同程度の観測時間を確保する必要がある。観測対象の移動速度を20m/sと仮定し、50分程度観測を継続できるという条件を設定すると、半径30kmの範囲を観測できる必要がある。模式図を図3.6.2-1に示す。

観測対象の積乱雲は水平サイズが数km程度であるため、観測域遠端でこれ以上の水平分解能を確保する必要がある。空中線指向角を4.5度程度とすると、

$$30[km] \times 4.5^\circ \approx 30[km] \times 0.0787 \approx 2.36[km]$$

と計算され、積乱雲の水平方向の広がり(2km程度)と同程度となる。よって、空中線指向角は概ね4.5度以下である必要がある。

現状使用されているアンテナはビーム幅2～4.5度、利得30～38dBiのものが使われている。このため、最低限の探知性能は30dBi（ビーム幅4.5度）で計算することとする。

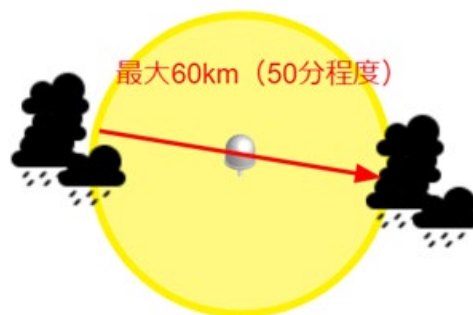


図3.6.2-1 観測範囲の模式図

3.6.3. 探知性能

汎用型気象レーダーの最低限必要な探知性能としてはこれまで、降水強度1mm/hrが用いられており、1mm/hr以上の降雨を観測できることとする。これは、一般的に気象レーダーの探知性能の基準として広く用いられ、実際に気象庁や国土交通省のC帯及びX帯レーダーにおいて仕様の基準とされている値である。降雨強度とレーダー反射強度を関係づける関係式としては、雨粒径分布を仮定するため一般にMarshall and Palmer (1948) に挙げられている関係式が用いられる。この関係式に基づくと、降水強度1mm/hrが反射強度23dBZに対応する。

また、汎用型気象レーダーに求められる探知性能を実現するための諸元を確認するため、最大EIRP 89dBmでの観測距離と最小検出可能な時間降雨量の関係を示すと図3.6.3-1のようになる。

項目	諸元
空中線電力 (単偏波)	200W
ビーム幅	4.5度以下
最大EIRP (単偏波)	89dBm

計算諸元

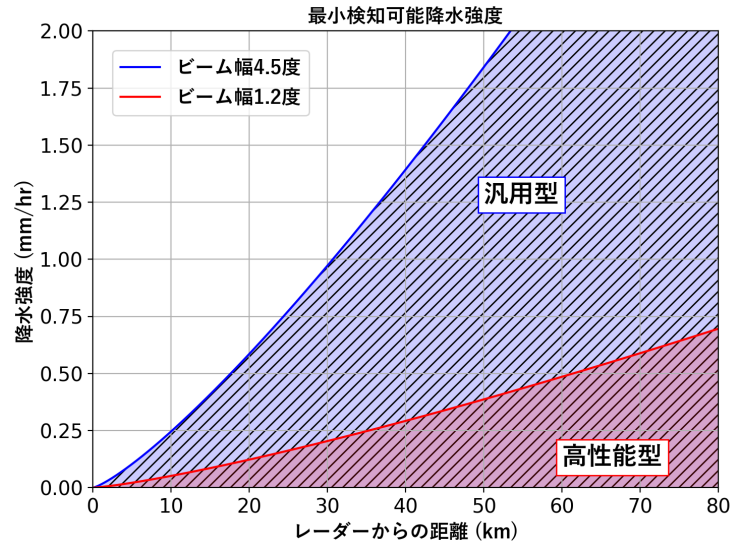


図3.6.3-1 表3.2-1での観測距離と最小検出可能な時間降雨量の関係

EIRPを89dBm（空中線電力200Wおよび水平面ビーム幅4.5度）を用いたとしても、最低限の観測性能である距離30kmで降水強度1.0mm/hrの観測性能を担保できる。よって、汎用型気象レーダーに求められる探知性能を実現するために必要なEIRPは、単偏波で89dBm（二重偏波で92dBm）である。

3.6.4. 搬送波の周波数

搬送波の周波数は、チャンネル幅が5MHz間隔であることを踏まえ、異なる電波の型式に関する当該周波数を均等に2.5MHz間隔とすることが適当であり、電波の型式PONは電波の型式QONよりも2.5MHz高い周波数とする。ただし、これらは同時に送信しないこととする。

3.6.5. 占有周波数帯幅

3.6.3に示す搬送波の周波数が2.5MHz間隔であることを踏まえ、現在、汎用型気象レーダーとして想定されている各社のレーダーについて、電波型式PON及びQONのOBWをそれぞれ測定によって確認したところ、PONは1.26～2.25MHz、QONは1.38～2.2MHzであり、電波型式がいずれも2.5MHzの範囲に入っている。気象レーダーのOBWの条件については、OBW値が小さいことだけではなく、他のパラメータとのトレードオフにより決定されるべきである。また、各社OBW値にはばらつきがあるものの、チャンネル間隔の幅に入っていることから、現状求められるOBWは2.5MHzである。OBWに関するパラメータを表3.6.4-1にまとめた。

表 3.6.5-1 OBWに関するパラメータ

	PON	QON
OBWに 関係するパラメータ	<ul style="list-style-type: none"> パルス半値幅 (距離分解能) パルス全長 	<ul style="list-style-type: none"> 距離分解能 窓関数ロス レンジサイドローブ

3.6.6. 必要な気象レーダーの諸元

局地的かつ急変する気象現象を観測するために必要な気象レーダーの諸元についてまとめると、以下のとおりとなる。

- ①送信機の終段増幅器に固体素子を用いる。
- ②距離分解能は150m。
- ③必要な観測可能な範囲は30km以上。
- ④必要な感度は30km先までの全域で、1 mm/hrの雨が観測できる。
- ⑤気象現象に対する安全確保がなされるよう、気象レーダーの配置やスキャンパターン等が選択できること。
- ⑥必要なEIRPは89dBm（単偏波）あるいは92dBm（二重偏波）以下。
- ⑦ビーム幅は、4.5度以下。
- ⑧送信出力は、200W（単偏波）あるいは400W（二重偏波）以下。

第4章 汎用型気象レーダーの前提条件

汎用型気象レーダーの前提条件を以下のとおり整理する。

(1) 高性能型の観測範囲外を補完すること

現在、設置、運用されている高性能型気象レーダーは、地上付近の定量的な雨量を観測し、公的に提供し、活用されることを主な目的として設置しているが、その観測データはリアルタイムに民間企業等に対しても提供されている。しかし、3.4章で述べたとおり、設置されている場所が限られ観測条件が整わないなどの理由から、特定の気象リスクを抱える民間企業向けに活用する上では課題が残っている。

そこで、9.7GHz帯における公的な気象レーダー観測に加え汎用型気象レーダーを設置、運用し、相互利用することで様々な業界、業種における気象リスクへの課題解決への応用が期待される。

なお、汎用型レーダーは高性能型気象レーダーと同様に、リアルタイムに気象観測を実施する目的で開設されることから、電波の混信が生じることのないように、高性能型の観測範囲と重複しない範囲を観測する事を目的として設置する。

上述の観測範囲、観測条件を補完する条件として、高性能型気象レーダーの最低仰角におけるビームの高さが標高1000m以下となるレンジ範囲を低層の観測範囲と定義し、汎用型気象レーダーの観測範囲と一定比率（20%）以上重ならないとき、汎用型気象レーダーを設置する前提条件のひとつとする。ただし、地形によって高性能型気象レーダーのビームが遮蔽される場合はそれ以遠を観測範囲と見なさない。また、汎用型気象レーダーの観測範囲は半径30kmと仮定（局地的大雨をもたらす積乱雲等の気象観測のために最低限必要となる範囲）し、汎用型気象レーダーの観測範囲においてビームの高さは標高1000m以下とする。観測範囲の考え方のイメージを図4-1に示す。

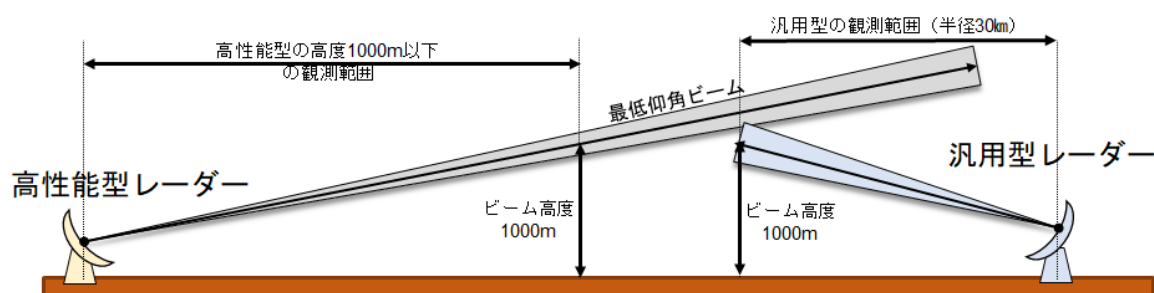


図4-1 観測範囲のイメージ図

(2) 高性能型気象レーダーに対して混信を与えないこと

既に運用されている高性能型気象レーダーの観測上の課題を補完するという目的を鑑みると、高性能型気象レーダーの観測に対して混信を与えることは、公的な目的にも照らし、許容されない。よって、汎用型気象レーダーは上記(1)の条件に加え、高性能型気象レーダーに混信を与えないこと、を前提条件のひとつとする。

以上をまとめると、表4-1のとおりとなる。

表4-1 汎用型気象レーダーの前提条件

条件	定義
1.	<p>観測範囲の重複率が20%以下となること。 重複率 = (重複する観測範囲の面積) / (汎用型の観測範囲の面積) と定義する。</p> <p>ここで、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高性能型気象レーダーの観測範囲 最低仰角におけるビームの高さが標高1000m以下となるレンジ範囲 ただし、地形によってビームが遮蔽される場合は、それ以遠は 観測範囲と見なさない。 ・汎用型気象レーダーの観測範囲 ビームの高さが標高1000m以下となる半径30kmのレンジ範囲
2.	高性能型気象レーダーの運用を阻害するような混信、その他妨害を与えないこと

第5章 同一周波数帯の他の無線システムとの共用条件

気象レーダー間の混信や、BS/CS受信設備へX帯気象レーダー送信波が画像破綻などの悪影響を起さず、利用可能となる条件を検討する。

5.1. 気象レーダー間の共用条件

気象レーダー間の混信の有無やその程度を考慮し、その情報を基に将来的なチャネルプランを検討するにあたり、以下のレーダーの混信保護基準（案）を検討した。

- ・高性能型レーダー
- ・汎用型レーダー

また、現時点での汎用型レーダーの展開計画を策定するにあたり、汎用型レーダーの展開が計画通りに実施されることを仮定して、表5.1-1に示す項目を条件として、以下について試算を行った。

- ・X-MPのような既存の高性能型レーダーに対して、どの程度混信を起す可能性があるか。
- ・汎用型レーダーがどの程度混信を受け、どの程度利用可能か。

表5.1-1 共用条件のための検討項目

検討項目	
1.	混信発生モデルと共用条件
2.	混信計算に必要な諸元
3.	レーダー諸元モデル
4.	レーダー間の混信計算モデル

5.1.1. 高性能型レーダーと汎用型レーダーとの共用条件

高性能型レーダーに混信を与えない範囲で汎用型レーダーの設置が効率的に行えるように、混信の観点で共用条件を検討する。

(1) 混信発生モデル

電波の混信が発生する会合パターンとしては、与干渉局の空中線のメインローブとサイドローブ、被干渉局のメインローブとサイドローブの組み合わせとなり、4つのパターンとなる。以降、「メインローブ」、「サイドローブ」をそれぞれ、「メイン」、「サイド」と呼ぶこととする。

与干渉局がメインで被干渉局がメインとなった場合は、互いのアンテナが向き合うパターンとなるため、混信レベルは最も高いが、そのようなパターンが発生する可能性は、時間的・確率的に極めて低い。

汎用型気象レーダーのビーム幅を4.5度とし、高性能型気象レーダーを汎用型気象レーダーに正対させたとき、メイン-メイン混信レベルが最大となり、1回転の観測時間において、混信する割合は最大で $4.5\text{度}/360\text{度}=0.0125\approx 1.3\%$ である。実際の観測においては、仰角の変化やそれぞれのRPM、観測開始の方角の違いによって、向き合うようなパターンが発生する可能性は極めて低くなるため、実用上問題となることは極めて少ないと考えられる。

与干渉がメインで、被干渉がサイドとなるパターンは発生頻度としては、限定的ではあるが、混信レベルは高い。与干渉がサイドで、被干渉がメインとなるパターンにおいても、混信レベルや発生頻度は同等であるが、高性能型と汎用型でメイン及びサイドのゲインが異なり、与干渉局が汎用型でサイド、被干渉局が高性能型でメインの場合に混信レベルがより高いため、この組み合わせにより検討を行った。混信パターンの例を図5.1.1-1に示す。

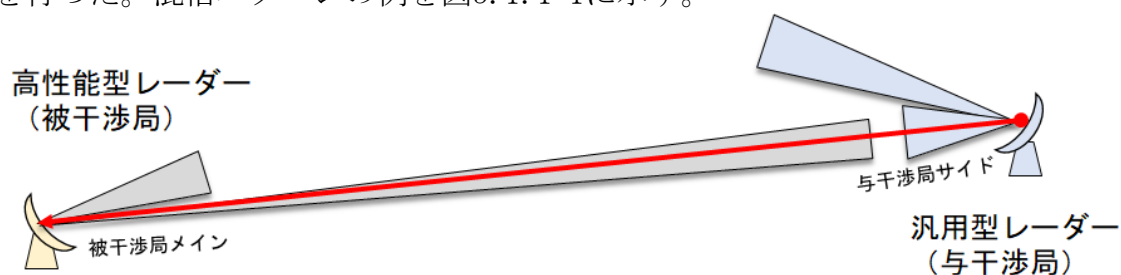


図5.1.1-1 サイド-メインの混信パターンイメージ

与干渉がサイドで、被干渉がサイドとなるパターン (図5.1.1-2) は、混信レベルは相対的に低いものの、常時発生する。これらをまとめると表5.1.1-1となる。

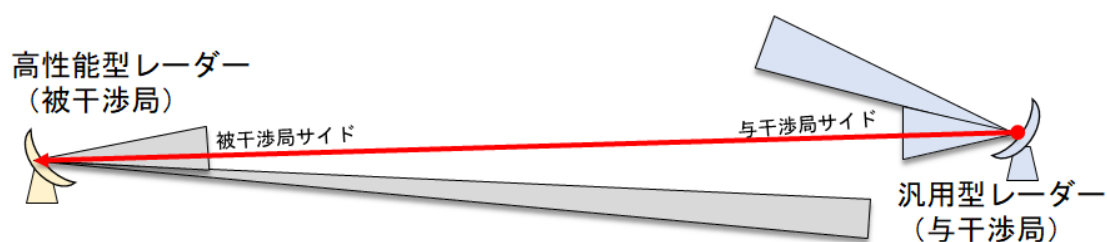


図5.1.1-2 サイド-サイドの混信パターンのイメージ

以上のことから、共用条件においては、メイン-サイド及びサイド-サイドの2つのパターンにおいて検討を行った。メイン-メインは発生頻度から、また、サイド-メインはメイン-サイドと同等なため、メイン-サイド、サイド-サイドの2つの条件で共用検討を行った。

表5.1.1-1 混信レベルの共用条件

アンテナビーム会合パターン (*1)		混信レベル	発生頻度
与干渉局	被干渉局		
メイン	メイン	混信レベルは最も高い	時間的・確率的に極度に低い
メイン	サイド	混信レベルは高い	時間的には限定的
サイド	サイド	混信レベルは低い	時間的には常時
サイド	メイン	メインーサイド同等	

(*1) 送受利得が同一のアンテナ（パラボラアンテナ等）の場合、メイン/サイド：空中線のメインローブ/サイドローブを意味する。

(2) 混信の前提条件

高性能型気象レーダーと汎用型気象レーダーの共用の条件として、検討すべきパターンは以下の3種類である。

- ・高性能型気象レーダーが汎用型気象レーダーに混信を与える場合
- ・汎用型気象レーダーが高性能型気象レーダーに混信を与える場合
- ・汎用型気象レーダー同士がお互いに混信を与える場合

高性能型気象レーダーは、公的な目的のための観測を行っていること、汎用型の気象レーダーは、それを補完する目的で展開することから、高性能型が汎用型に与える混信に対しては、制限をしないこととする。

また、同様の目的のため、汎用型が高性能型に対しては、メインーサイド、及びサイドーサイドのパターンにおいても混信を与えないことを前提条件とする。

表5.1.1-2 汎用型レーダー同士の混信の前提条件の考え方

パルス繰り返し周波数 (周期)	デューティー比から求まるパルス幅	自局を除いて2局設置した際に必要な送信時間	得られる受信時間	必要な観測範囲から求まる受信時間
2 kHz (500 μ s)	50 μ s	150 μ s	350 μ s	200 μ s (30km) 333 μ s (50km)
3 kHz (333 μ s)	33 μ s	99 μ s	234 μ s	
5 kHz (200 μ s)	20 μ s	60 μ s	140 μ s	

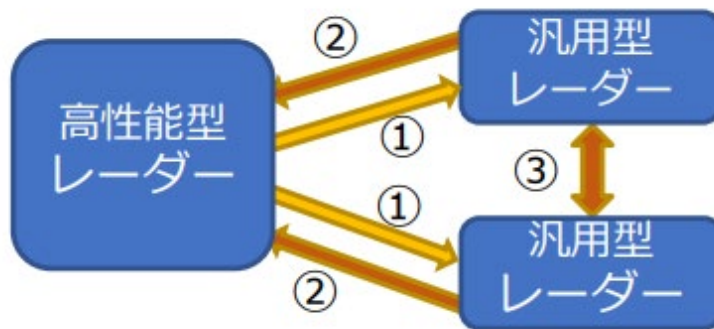


図5. 1. 1-3 高性能型レーダーと汎用型レーダーの混信の前提条件

表5. 1. 1-3 高性能型レーダーと汎用型レーダーの混信の前提条件

混信の影響方向	混信の前提条件
高性能型から汎用型	制限しない。
汎用型から高性能型	メインサイド及びサイドーサイドの混信は与えない。

表5. 1. 1-4 汎用型レーダー同士の混信の前提条件

混信の影響方向	混信の前提条件
汎用型同士	メインサイドの混信は許容する。

(3) 混信保護基準

汎用型気象レーダーは、単偏波観測を主体としており、電波の反射強度の観測となるため、混信保護基準は $I/N=0\text{dB}$ (N は熱雑音) 以下とするのが適当である。一方、高性能型気象レーダーは要求条件が高く、二重偏波観測を主体としており、 0dB 以下の混信であっても、観測品質に悪影響を及ぼすため、混信保護基準をさらに厳しくする必要がある。

ITU-R勧告M. 1849-2では、気象レーダーの混信保護基準が $I/N=-10\text{dB}$ と規定されているため、高性能型気象レーダーの混信保護基準は、これを適用することとする。これらのことから、高性能型気象レーダーと汎用型気象レーダー間の混信保護基準は表5. 1. 1-3のとおりである。

表5. 1. 1-3 高性能型気象レーダーと汎用型気象レーダーの混信保護基準

	高性能型レーダー	汎用型レーダー
混信保護基準	メインサイドの混信で $I/N -10\text{dB}$ 以下	サイドーサイドの混信で $I/N 0\text{dB}$ 以下

5.1.2. 汎用型気象レーダー同士の共用条件

汎用型気象レーダーについては、I/Nが0dB超で混信ありとし、サイドローブーサイドローブでの混信のみを考慮する。それぞれの地域に特有な気象現象があり、気象情報に対するニーズは地域毎に様々であるため、それぞれの設置場所で適切なレーダーの配置、スキャンパターンが選択できることが必要である。離調周波数が10MHzとした場合は、離隔距離はサイドローブ対向混信で7 km程度となる。

表5.1.2-1 汎用型同士の共用条件

汎用型同士の共用条件	離調周波数	離隔距離
メインーサイド	5 MHz	364km
	10MHz	131km
サイドーサイド	5 MHz	26km
	10MHz	7 km

5.2. 沿岸監視レーダー・波高レーダー

沿岸監視レーダー及び波高レーダーは9.7GHz帯の周波数を使用しており、汎用型気象レーダーとの共用検討が必要である。本報告書では検討対象から除外するが、今後、高性能型気象レーダーも含めた検討の際には、共用条件を明確にする必要がある。

9.7GHz帯沿岸監視用・波高測定用レーダーの分布図等

1



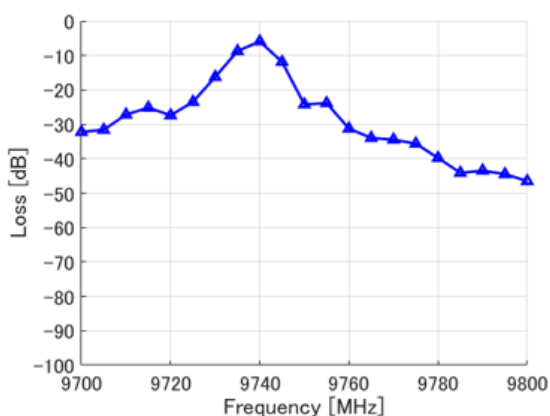
図5.2-1

沿岸監視レーダーと汎用型レーダーの共用について検討した。既存の沿岸監視レーダーが使用している中心周波数は 9740 ± 27 MHzである一方、気象レーダーとして割り当てられている9.7GHz帯の中心周波数は9700から9795MHzであり、沿岸監視レーダーの中心周波数からより遠ざけ、相互の混信をより小さくするためには、気象レーダーは9795MHzを選択するのが良い。そこで本検討では、汎用型気象レーダーの中心周波数を9795MHzと仮定した。この仮定を基に、沿岸監視レーダーの送信管をマグネトロン型および固体素子型とし、許容混信電力以下となるための必要離隔距離を机上計算により試算した。なお、波高レーダーは、沿岸監視レーダーと性能が同じであるため、波高レーダーの共用検討は沿岸監視レーダーの共用検討に含めることとする。

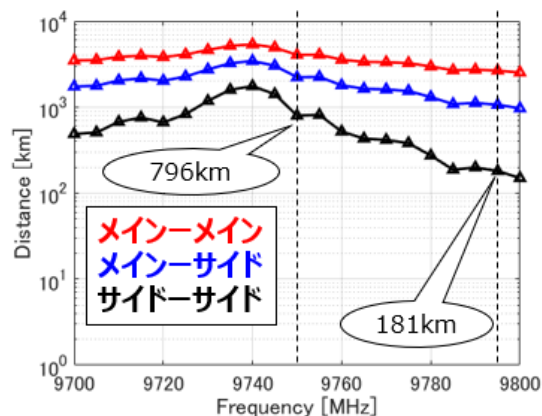
沿岸監視レーダーの周波数の離調減衰を考慮し、マグネトロン型と固体素子型それぞれに必要な離隔距離を算出した(表5.2-1)。対向条件はサイドローブ同士、自由空間損失のみを考慮(地形等による損失は見込まない)した。

表5.2-1 必要な離調周波数と離隔距離

沿岸監視レーダー	離調周波数	離隔距離
マグネトロン型	10MHz	796km
	55MHz	181km
固体素子型	10MHz	588km
	55MHz	2.1km



離調周波数による減衰量



IN=0dBを実現するための離隔距離

図5.2-2 マグネトロン型の離調周波数による減衰量と汎用型気象レーダーの離隔距離

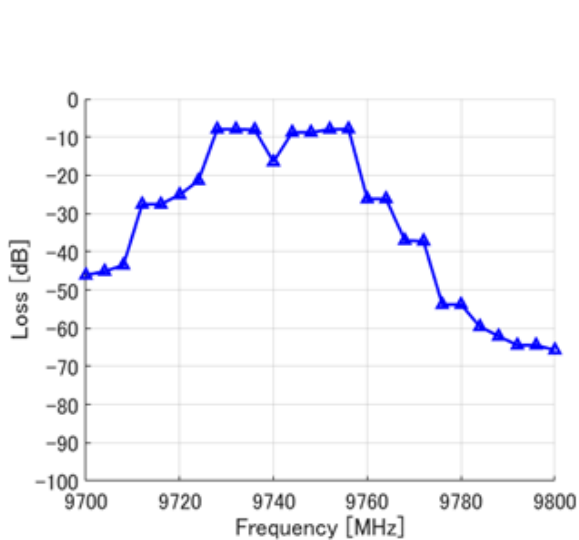
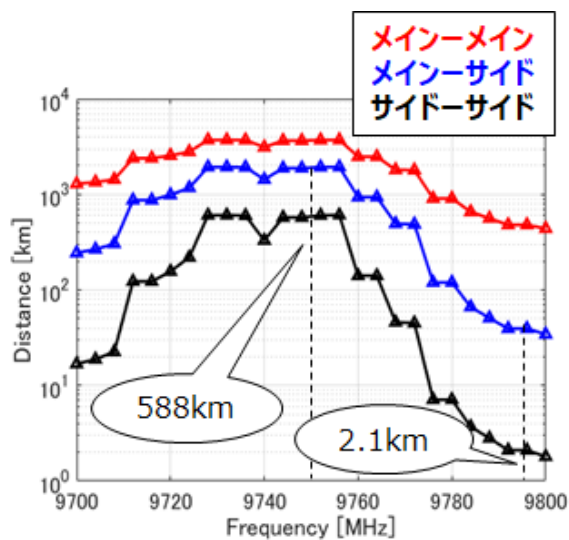


図5.2-3 固体素子型の離調周波数による減衰量と汎用型気象レーダーの離隔距離



現在、ほとんどの沿岸監視レーダーはマグネトロン型であるが、試算によると、離調周波数を55MHzとしても、その離隔距離は181kmであることから、このままでは、混信により汎用型レーダーの性能が十分発揮出来ない可能性がある。

このため、汎用型気象レーダーが被干渉、沿岸監視レーダーが与干渉となった際に、汎用型気象レーダーに搭載されている「干渉除去機能」を動作させることで混信を除去し、運用に支障がないことを確認する実験を行った。

実験に際しての諸条件は以下のとおりである。

表5.2-2 汎用型気象レーダーのパラメーター

実施場所	奄美大島
受信周波数	9793.75MHz・9738.75MHz
パルス平均数	100（通常の観測モード）ないし50
PRF	2 kHz
パルス幅	39 μ s（QON, 2 MHz LFM）
アンテナ回転方法	Az方向に1～2 rpm 仰角0度
干渉除去機能	パルス間比較および孤立点除去
沿岸監視レーダーについて	場所は目視で確認し、通常運用を行っていたことは海上保安庁に確認済み。距離は約5.2km。

実験結果については、沿岸監視レーダーの周波数に近い9738.75MHzで受信したところ、沿岸監視レーダーがある方向（図5.2-4の赤矢印方向）に、最大45dBZの混信（図5.2-4の赤丸部分）が生じたが、汎用型気象レーダー側で干渉除去機能を作動させたところ、図5.2-5のとおり、混信を除去できることを確認した。

また、沿岸監視レーダーの方向とは異なる、東南東方向から到来する信号については、沿岸監視レーダーの電波が複数回反射し違う方向から届いたか、別の波源があるか、のいずれかであると考えられる。これらの信号についても干渉除去機能を作動させたところ、直接波と同様に信号を除去でき、気象レーダー以外の混信を除去できることを確認した。

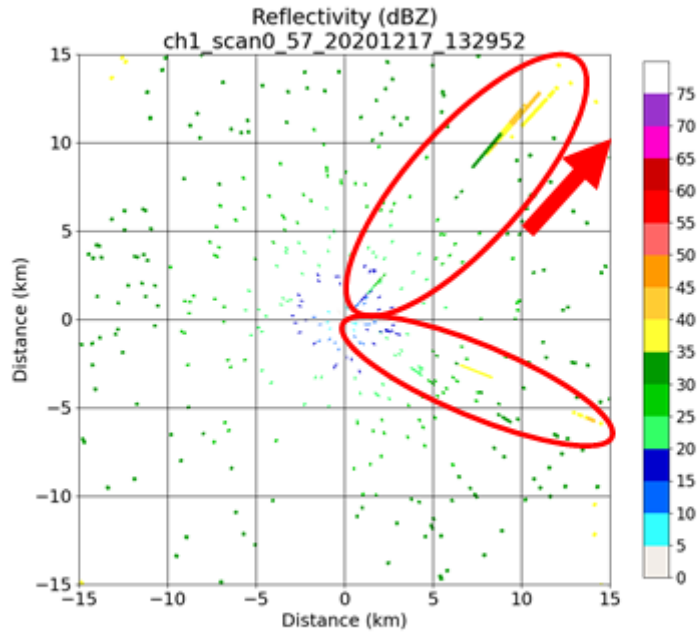


図5.2-4 汎用型気象レーダー（9738.75MHzの受信状態）での観測結果
 (赤矢印は沿岸監視レーダーがある方向、赤丸は混信が生じている箇所を示す)

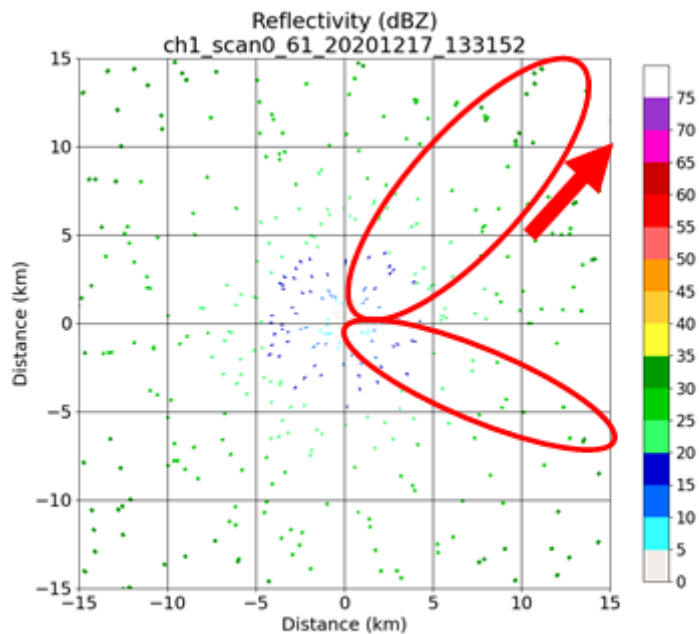


図5.2-5 汎用型気象レーダー側で干渉除去機能を動作させた結果
 (赤丸内の混信が除去されている)

このとおり、沿岸監視レーダーからの混信を除去する実験を行った結果、混信が除去できることを確認した。汎用型気象レーダーを9738.75 MHzの受信状態にしたところ、混信状態が生じ、そして、汎用型気象レーダー側で干渉除去機能の入切を行った結果、干渉除去機能を入れると混信波が取り除かれた。よって、干渉除去機能を作動させることで、基本的な観測を行うことが可能であることが確認できた。

一方、汎用型気象レーダーが与干渉、沿岸監視レーダーが被干渉となる場合については、沿岸監視レーダーでの観測目的が対象物の位置を特定することであり、干渉除去機能によって、汎用型気象レーダーによる混信を除去しても、その位置の特定に影響を及ぼす可能性は極めて低いと考えられる。

これらのことから、単偏波観測を主体とする汎用型レーダーについては沿岸監視レーダーとの周波数共用は可能である。ただし、二重偏波観測を主体とする高性能型気象レーダーについては、強度差を用いた干渉除去では降雨時の精度低下が無視できないため、この限りではない。

5.3. BS/CS放送受信設備

9.7GHz帯気象レーダーの共用検討の対象は、CS放送受信設備であるものの、衛星放送の受信設備としての混信メカニズムがBS、CSともに同様に扱うことができるため、BSを含めBS/CS放送受信設備に関する共用条件を検討する。

5.3.1. システム概要と気象レーダー送信波のBS/CS受信設備への影響について

通常のBS/CS受信設備では、屋外に設置されたパラボラアンテナのフィード部分において、受信RF信号(12GHz)の周波数変換が行われ(図5.3.1.-1コンバータブロック図参照)、IF信号(L帯)が屋内の受像装置に供給される。

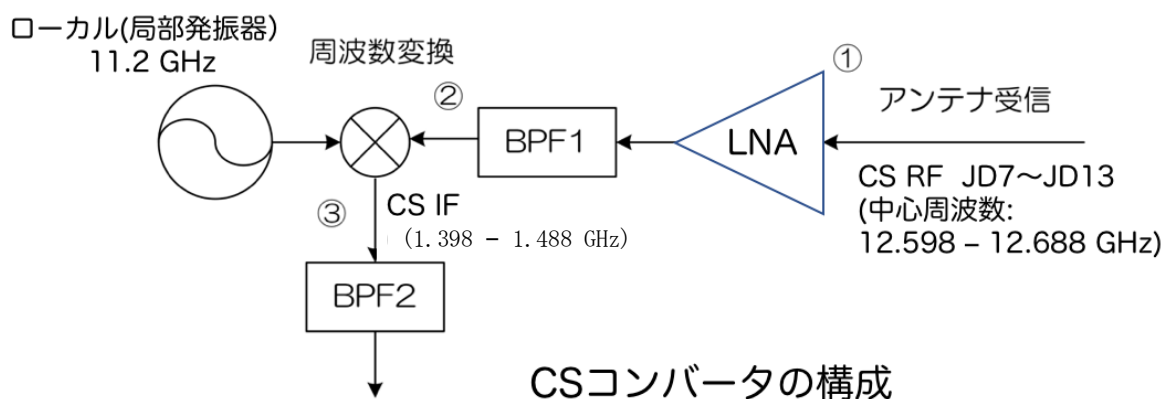


図5.3.1-1 CSコンバータのブロック図

この周波数変換において、局発信号(Local)の上側波帯が目的のBS/CS受信信号であり、下側波帯に気象レーダーで使用されている周波数に対応する場合があります。気象レーダー近傍で気象レーダーのメインビームがBS/CS受信設備を照射し、BS/CS受信設備の周波数変換におけるイメージ妨害抑圧比を超えた信号が入力される場合、気象レーダー送信波がBS/CS受信設備への混信となり、画像破綻が発生することになる。

5.3.2. 共用検討モデル

BS/CS放送受信アンテナ方向への気象レーダー送信波の電力束密度(pfd: Power Flux Density)は、気象レーダーのメインビーム方向と気象レーダーのアンテナパターン $A_t(\phi, \theta)$ と気象レーダーとBS/CS放送受信アンテナ間の距離から計算可能である。気象レーダー送信波のBS/CS放送受信アンテナへの入力レベルは、BS/CS放送受信アンテナのアンテナ識別度 D で低減される。図5.3.2.-1 共用検討モデルの説明 その1に上記を図解する。

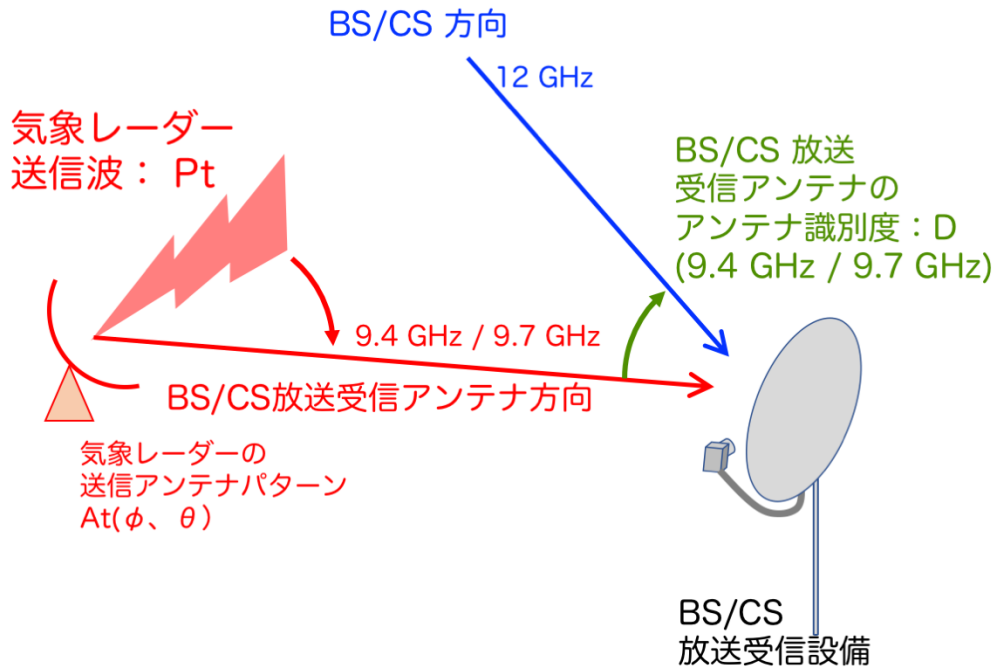


図5. 3. 2-1 共用検討モデルの説明 その1

図5. 3. 1. -1のBSコンバータのブロック図に示したように、BS/CS放送の 12 GHz帯の電波と気象レーダーの 9.4GHz/9.7GHz が周波数変換時の鏡像関係になる場合、周波数変換後の IF 信号では同じ帯域に変換される。この時、気象レーダーの周波数は目的外の帯域の信号であり、BS/CS放送の周波数の電波より抑制され、その能力を受信アンテナ込みのイメージ妨害抑圧比を S とする（図5. 3. 2. -2 共用検討モデルの説明 その2 参照）。

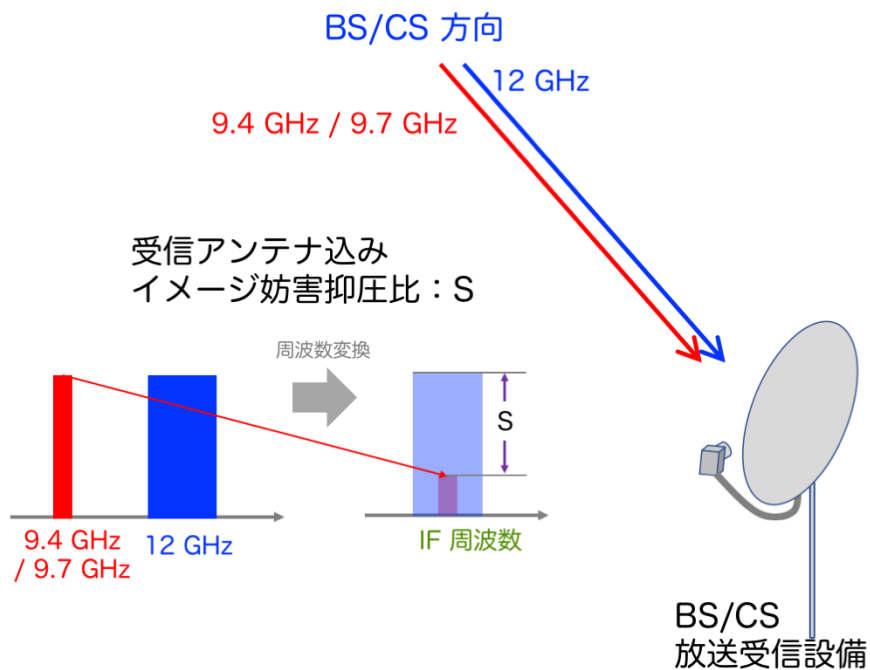


図5. 3. 2-2 共用検討モデルの説明 その2

このモデルのもとで、気象レーダーからBS/CS受信アンテナへの許容干渉 pdf_{i_r} は以下の式で表される。

$$pfd_{I_r} = \text{BS/CS 受信 pfd} - \frac{Cave}{I_{peak}} - M + S + D$$

上式の各項について、表5.3.2-1 に整理する。

表5.3.2-1 共用検討モデルの各項の説明

項目	説明
pfd_{I_r}	気象レーダーから BS/CS受信アンテナへの許容干渉電力束密度（ピーク値）
BS/CS 受信 pfd	BS/CS受信アンテナへの BS/CS放送波の電力束密度（平均値） BS放送：-102.6 dBW/m ² （@東京） -104.3 dBW/m ² （@那覇） CS放送：-108.4 dBW/m ² （@横浜） -113.4 dBW/m ² （@那覇）
$\frac{Cave}{I_{peak}}$	画像破綻を起こす放送波(Cave)と妨害波(I_{peak})の比 IF信号を使って、実験室実験で適切な値を決定する予定
M	降雨時の影響を考慮するためのマージン 降雨時に BS/CS放送波は衛星とBS/CS受信アンテナ間の降雨により減衰を受けて、干渉で画像が破綻しやすくなる。このため、マージンを取る必要がある。
S	受信アンテナ反射鏡込みイメージ妨害抑圧比 受信アンテナ利得が最大となる方向からBS/CS所望波平均値と妨害波ピーク値が同じpfd（電力束密度）で入力したときの、IF帯でのBS/CS所望波平均値と妨害波ピーク値出力の比であり、 $S > 0$ とする。この値が大きいほど、BS/CSアンテナは干渉に強い。
D	BS/CSアンテナ識別度（9GHz帯放射パターン） BS/CSアンテナは静止衛星軌道に向けるのに対し、気象レーダーからの妨害波は、通常、水平方向からやってくるので、アンテナ利得が最大アンテナ利得方向より低下していて、その分干渉量が小さくなる。アンテナ識別度は、9GHz帯における最大利得方向の最大利得に対する、その方向のアンテナ利得との差であり、 $D \geq 0$ とする。

5.3.3. 共用条件

CS放送事業者と設置を希望する者がCS放送受信設備への影響について運用調整を行い、合意が行われていることを条件とする。

今回の検討ではBS/CS放送受信設備を保護するための適切な条件設定に至らなかったため、気象レーダーからのイメージ妨害の影響を受けにくい放送受信設備の導入なども含め、引き続き放送事業者等と共用条件について検討を行うこととする。

今後、検討実施中の項目を精査し、総務省資料「9GHz帯気象レーダーを運用される方へ（平成22年4月26日）」（http://www.soumu.go.jp/main_content/000372122.pdf）の改定を行うとともに、必要に応じて審査基準等の見直しを実施する。

なお、CS放送受信設備に対し妨害を与えるような混信が認められた場合は、設置を希望する者がCS放送事業者と調整の上、個別に対応するものとする。

第6章 汎用型気象レーダーの技術的条件

6.1. 一般的条件

6.1.1. 適用範囲

この技術的条件は、9.7GHz帯汎用型気象レーダーであって、送信機の終段増幅器に固体素子を用いるものに対して適用する。

6.1.2. 周波数帯

汎用型気象レーダーの周波数帯は、9,697.5～9,800MHzの範囲（割当周波数9,700～9,797.5MHz）とする。

6.2. 送信装置の条件

6.2.1. 変調方式および電波の型式

変調方式はパルス変調とすることが適当である。電波の型式は、P0N又はQ0N、もしくはその両方とすることが適当である。

6.2.2. 搬送波の周波数

高性能型レーダーではP0Nの方がQ0Nよりも高い周波数帯側に割り当てられているおり、また、占有周波数帯幅が2.5MHzで、P0NとQ0Nの相互の混信を避けるため、電波の型式がP0Nの搬送波の周波数は、電波の型式がQ0Nの搬送波の周波数より2.5MHz高い周波数とすることが適当である。ただし、これらは同時に送信しないこと。

6.2.3. 周波数の許容偏差

周波数の許容偏差は、恒温槽付水晶発振器や温度補償水晶発振器が高い周波数精度を確保できることから、百万分率で20とすることが適当である。

6.2.4. 占有周波数帯幅の許容値

汎用型気象レーダーとして想定されている各社のレーダーについて、OBW（P0N、Q0N）の測定を行った。この結果、OBWの許容値は、2.5MHzとすることが適当である。

6.2.5. 空中線電力

空中線電力は、必要な探知性能を実現する諸元が52.8dBm以上であることから、200W以下（単偏波）とすることが適当である。また、垂直及び水平偏波を同時に用いる場合、それぞれの送信出力の和を取ることにする。電波の型式がP0N、Q0Nともに尖頭電力で表示することとする。

6.2.6. 等価等方輻射電力（EIRP）

EIRPを89dBm（単偏波）、92dBm（二重偏波）とすると、距離30kmで降水強度 1 m m/hrの観測性能を担保できる。汎用型気象レーダーに求められる探知性能を実現するために必要な最大EIRPは、89dBm（単偏波）、92dBm（二重偏波）となる。よって、EIRPは、89dBm以下（単偏波）、92dBm以下（二重偏波）とすることが適当である。

6.2.7. 空中線電力の許容偏差

空中線電力の許容偏差は、上限20%、下限50%とすることが適当である。

6.2.8. デューティー比

送信平均電力を上げるためには、デューティー比はなるべく大きくした方が良いが、複数台の隣接レーダーによる協調観測を行うには、それぞれのレーダーの受信時間を確保する必要がある。自局以外に2台程度設置された際には、それぞれの送信タイミングを調整した上で受信時間を確保するために、デューティー比は10%以下とすることが適当である。

6.3. 搬送波の変調波スペクトラムの許容範囲

搬送波の空中線電力（尖頭電力）から、次の減衰量とすることが適当である。

- ・割当周波数から±3.75 MHz以上離隔した周波数における減衰量：50 dB 以上
- ・割当周波数から±8.75 MHz以上離隔した周波数における減衰量：60 dB 以上

6.4. スプリアス発射又は不要発射の強度

6.4.1. 帯域外領域におけるスプリアス発射の強度の許容値

基本周波数の平均電力より、40dB低い値とすることが適当である。

無線測位業務を行う無線局の送信設備の帯域外領域とスプリアス領域の境界の周波数は、ITU-R勧告SM.1541-5 Annex 8の条件に適合することとし、図6.4.1-1のとおりとする。

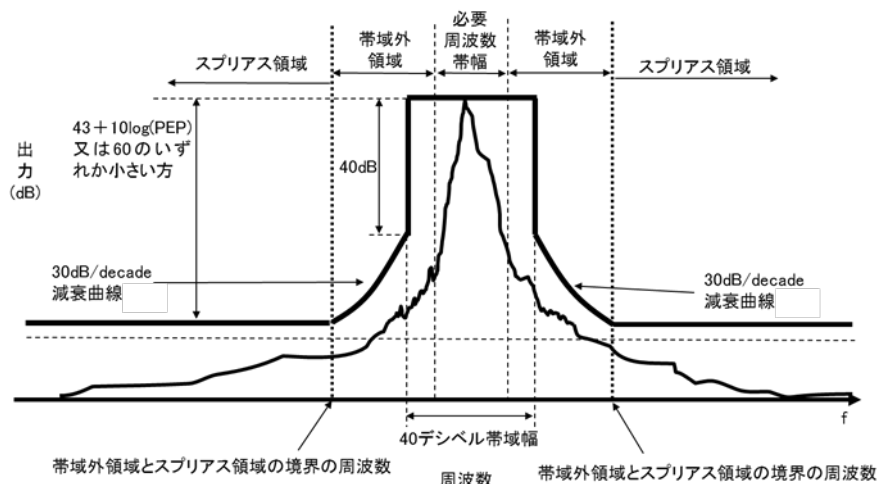


図6.4.1-1帯域外領域とスプリアス領域の境界の周波数

6.4.2. スプリアス発射領域における不要発射の強度の許容値

基本周波数の尖頭電力より、60dB低い値とすることが適当である。なお、参照

周波数帯幅及び帯域外領域とスプリアス発射領域の境界の周波数は、ITU-R勧告SM.1541-5 Annex 8の条件に適合することが適当である。

6.5. 空中線

6.5.1. 空中線利得

空中線利得については、規定しない。

6.5.2. 空中線ビーム幅

空中線のビーム幅は、4.5度以下とする。

6.5.3. 空中線サイドローブレベル

主指向方向から3度以上離隔した方向における最大EIRPを76dBm以下（単偏波）、79 dBm以下（二重偏波）、15度以上離隔した方向における最大EIRPを62dBm以下（単偏波）、65 dBm以下（二重偏波）とする。

観測性能や実現性に無理の無い範囲で上限値を管理するのが現実的対応であり、空中線の指向性モデルが必要である。このため、ITU-R勧告M.1851-1のsincモデルで考える。当該勧告によれば、第一サイドローブ特性が-13.2~-19dBppの範囲を想定したモデルであり、Φ1m以下程度の小型アンテナに適する。ここで、検討に用いた計算式は以下のとおりである。

$$F(\mu) = \sin \frac{\mu}{\mu} \quad (\text{放射パターン})$$

$$\mu = \pi \left(\frac{l}{\lambda} \right) \theta = \frac{\pi \cdot 50.8 \theta}{\theta_3} \quad \theta : \text{利得計算角度} [\text{deg}] \quad \theta_3 : \text{ビーム幅} [\text{deg}]$$

$$\text{サイドローブ方向のマスク} : -8.584 \cdot \ln \left(2.876 \cdot \frac{|\theta|}{\theta_3} \right) [\text{dB}]$$

※ただし -30dB以下の部分は-30dBとする。

サイドローブ-サイドローブ混信のみを考えるため、高利得アンテナを用いた場合でも混信の強度は増加しない。

6.6. 電波防護指針

9.7GHz帯汎用型気象レーダーについては、当該レーダーを設置する段階において、その諸元が電波防護指針と適合できるか確認するものである（電波防護指針については、参考資料10参照）。

電波防護対策としては、電波防護指針に基づき、設置環境に応じてそれぞれが離隔距離を算出し、離隔距離以内に立ち入れないような対策（ビルの屋上に人が立ち入るときは電源が切れる、など）を施したり、空中線が停止した際は、電波の送信も停止させる機能を装備したりするなどの対策を行う必要がある。

X帯汎用型気象レーダーの以下の諸元に基づき、電波防護指針の適合性を確認する。ひとつの参考値を図6.6-1に示す。

表6.6-1 離隔距離と計算条件

離隔距離	計算条件
9.14m	空中線は回転する アンテナ利得：38dBi 送信出力（単偏波）：200W（EIRP 89dBm） デューティー比：10% 直接波+ビル等の反射

（単偏波として、電波防護指針の適合性を確認する）

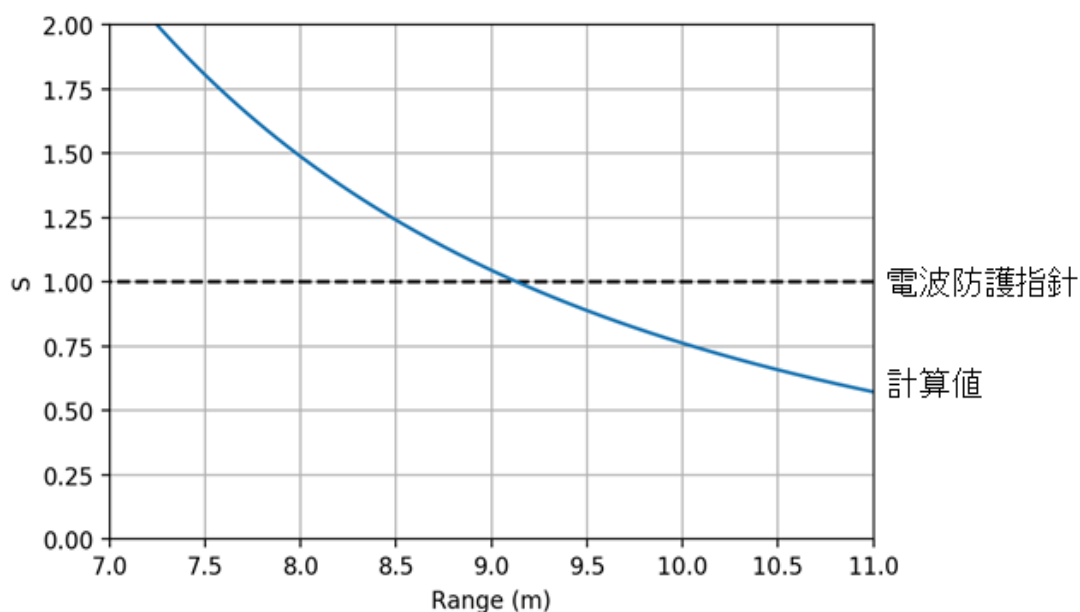


図6.6-1 X帯汎用型気象レーダーの電波防護指針と適合性（例）

この例の場合、離隔距離を10m程度確保することにより、電波防護指針に適合できることを確認した。ビルの屋上等に設置する際には、人の立ち入りに応じて送信を停止させる、アンテナの回転を停止した状態で送信できないようにする等の対策を行う必要がある。

6.7. 受信装置

6.7.1. 等価雑音帯域幅および雑音指数

等価雑音帯域幅は、1.2MHzとし、雑音指数は、4 dB以下とすることが望ましい。

6.7.2. 最小受信感度

最小受信感度は、-110dBm/MHzとすることが望ましい。

6.7.3. 副次的に発する電波等の限度

現行無線設備規則第24条の規定のとおり、X帯気象レーダーについても、受信機

から副次的に発する電波の限度は、4nW以下とする。

6.8. 測定法

本節では、汎用型気象レーダーの技術的条件のうち、測定法に関する項目について定める。

6.8.1. 周波数の測定

電波の型式がPONの場合-3dBpp、QONの場合-10dBppとなる周波数の平均とする。

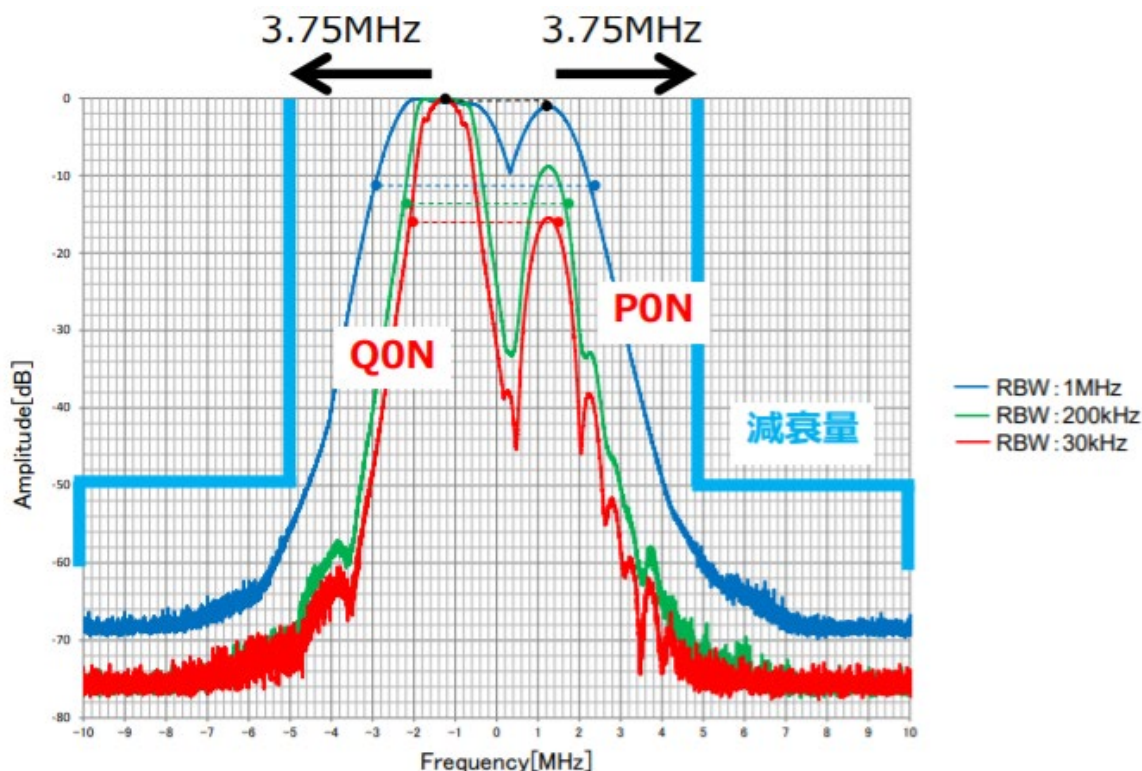


図6.8.1-1 周波数オフセットについて

6.8.2. 占有周波数帯幅の測定

OBWの測定において、周波数オフセットしたPONパルスとQONパルスを同時にスペクトラム・アナライザーにて測定すると分解能帯域幅 (RBW) の設定値によってPONとQONのピークレベル差が変化するため、RBWの設定値を規定する必要がある。この解決方法として、周波数オフセットしたPONパルスとQONパルスを個別にスペクトラム・アナライザーにて測定する (測定例については参考資料5参照)。

表6.8.2-1の条件で測定を行うと、OBW、送信周波数及び搬送波の変調波スペクトルが同時に測定できる。

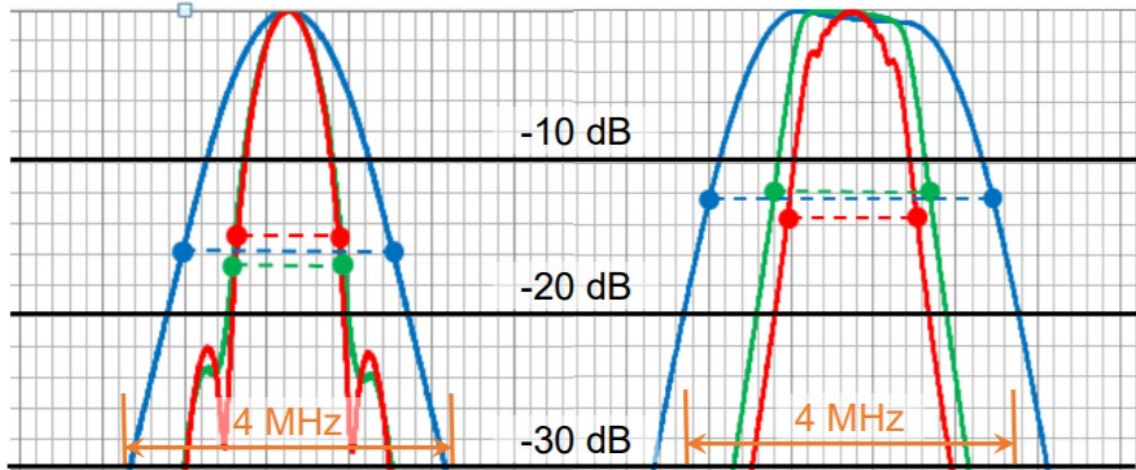
表6.8.2-1 測定条件

	測定条件	数値例	
		P0N	Q0N
掃引周波数幅	OBW、送信周波数、及び搬送波の変調スペクトルの許容範囲が同時に測定できる幅	30 MHz	
分解能帯域幅 (RBW)	OBW許容値の1%以上	30 kHz	
ビデオ帯域幅 (VBW)	RBWと同程度	30 kHz	
データ点数	1000点以上	1501点以上	
掃引モード	繰り返し掃引	繰り返し掃引	
掃引時間	PRFの逆数とデータ点数の積以上	10秒	
信号対雑音比 (S/N)	50 dB以上	70 dB以上	
検波モード	ポジティブピーク	ポジティブピーク	
表示モード	マックスホールド	マックスホールド	
周波数	ピークから一定割合電力低下した周波数の平均	-3 dBpp となる周波数の平均	-10 dBpp となる周波数の平均

測定条件の根拠は、以下のとおりである。

(1) 掃引周波数幅

- OBW計算をするためには、適切な幅で掃引しなければならない。OBWは、掃引周波数幅内の電力総和に対して99%の電力が集中する周波数幅で規定される。つまり、掃引周波数の幅が狭すぎる場合には、OBWが過小評価される。
- 国内規定には根拠の記述がないため、ITU - R勧告 SM. 443-4を引用する。掃引周波数幅が過剰に広い場合、多量の雑音が計算過程に混入して精度低下要因となる。そのため、少なくとも最大振幅に対して0.5% (または-26dB) のスペクトル成分が十分に含まれる幅とする (図6.8.2-1)。
- OBWの端点は概ね-15~-10dBとなる。OBWの2倍程度幅を取れば、スペクトルの接点は-30dBを下周るが、OBWだけでなく、送信周波数や減衰量など全体を一度に測定するには、掃引周波数幅を30MHzとすることが適当である。



*ITU-R勧告 SM. 443-4 “Bandwidth measurement at monitoring stations”

図6.8.2-1 OBWの測定方法の根拠

(2) RBW

OBWは探知性能に直結するため、許容値付近で運用することが望ましい。また、2桁程度の測定精度が必要であるため、RBWはOBWの1%程度とする。ただし、実際のスペクトラム・アナライザは離散的なRBWしか設定できないため、RBWはOBWの1%以上とする。

PONをスペクトラム・アナライザで測定すると、PRF毎に分布する線スペクトルとして観測されるため、観測点毎にスペクトルを1本以上入れる必要があることから、RBWはPRF以上とする必要がある。PRFとして50Hz～20kHzが想定されているが、RBWを1%とした場合は概ね要件を満たす。

(3) データ点数

データ点数は、掃引周波数幅をRBWで除した値が下限値となる。掃引周波数が30MHz、RBWをOBWの1% (30MHz×1%=0.030MHz) とすると、下限値は30/0.030=1000点となる。

(4) 掃引モード

スペクトルの測定においては、レーダーと非同期で測定するために、1回の掃引だけでは、スペクトルのエンベロープが形成されないため、ある程度の繰り返しが必要である。ITU-R勧告SM. 443-4では、400回以上の掃引が必要であると言われている。

(5) 掃引時間

各データ点の測定時間は最低でも、送受信1周期以上が必要である。PRFの逆数が送信周期であり、各点の測定時間の最低値となるため、掃引時間はPRFの逆数とデータ点数の積以上とする。

(6) 信号対雑音比

OBWの測定には、最低でも26dBのダイナミックレンジが要求されている。許容誤差を0.02dBとすると、 $\frac{S+N}{S} \leq 10^{\frac{0.02}{10}}$ より $\frac{S}{N} \geq 216.65 \approx 23.4 [dB]$ となるため、測定系には26dB+23.4dB=49.4dB以上のダイナミックレンジが要求される。よって、信号対雑音比は50dB以上とする。

(7) 特性周波数

特性周波数は、ピークから一定割合電力が低下したところの周波数の平均とする。具体的には、PONの場合は-3dB、QONの場合は-10dBとする（スペクトルの測定例は参考資料4のとおり）。

6.8.3. 副次的に発する電波等の限度

空中線接続端子に擬似負荷を接続し、受信装置を連続受信状態として、スペクトラム・アナライザー等を用いて測定すること。

6.9 その他

現在、各分野において固体素子型レーダーが導入・運用されており、送信出力低減のため、従来から電子管型レーダーで用いられている短パルス（無変調パルス列）に加えて長パルス（変調パルス列）が使用されているところである。これらの異なるパルスを発射するものについては、単独及び複数の電波の型式による運用に対応した周波数管理を行う観点から、今後C帯X帯の短パルスと長パルスの両方を送信する気象レーダーの電波の型式について、PONとQONを別個に指定することが適当である。

また、スプリアス発射についてもC帯X帯の両気象レーダーについてITU-R勧告SM.1541-5 Annex 8の条件に適合するよう見直しを行うことが必要である。

第7章 今後の課題

本報告書にて検討した内容を踏まえて、X帯9.7GHz帯汎用型気象レーダーの今後の展開における課題や検討事項を以下列記する。

気象レーダーは、汎用型と高性能型に分けているが、空中線電力等の一部の諸元以外は、不要発射や測定法等の技術的条件に差異を設ける合理的な理由はないと考える。

9.7GHz帯気象レーダーで検討すべき課題として、汎用型と高性能型が個別に検討しなければならない事項は以下のとおりである。

- ・空中線電力の上限
- ・等価等方輻射電力の上限
- ・空中線利得
- ・搬送波の変調波スペクトラムの許容範囲
- ・沿岸監視レーダー及び波高測定用レーダーとの共用条件
- ・CS放送受信機との共用条件

今般、9.7GHz帯汎用型気象レーダーの技術条件を検討した。今後、9.7GHz帯高性能型気象レーダーの技術的条件は、より十分な検討を図ることとなるが当該条件がまとまった際に、汎用型気象レーダーにも適用できるものは、汎用型気象レーダーの技術的条件の見直しを行うこととする。

気象レーダーは、5MHz幅の周波数間隔として周波数割当てを行っているが、搬送波の変調波スペクトラムとして隣接チャンネル（5MHz離れ）、次隣接チャンネル（10MHz離れ）のポイントで空中線電力からの相対的な減衰量を規定している。将来的に周波数の効率的利用を図るには、さらに離れたポイントの減衰量や段階的なスペクトラムマスクを検討することが望ましい。

汎用型気象レーダーについては可搬型も考えられる。9.7GHz帯においては、現在約40局の高性能型気象レーダーが運用しており、また沿岸監視レーダー等の他共用システムも存在していることから、汎用型、高性能型ともに固定設置の気象レーダーに限定し、可搬型は共用条件をまとめた上で9.4GHz帯において検討することが望ましい。

沿岸監視レーダーとの共用検討

沿岸監視レーダーとの共用検討については、単偏波気象レーダーでは一定の混信除去が見込めるものの、二重偏波気象レーダーは、引き続き検討が必要である。

BS/CS放送受信機との共用検討

BS/CS放送受信機との共用検討については、BS/CS放送受信機それぞれの混信に対する耐性の違いを含めた混信メカニズムは解明できたものの、BS/CS受信アンテナのコンバータにおける混信発生であることを考慮し、気象レーダーによる過度なブランキングとならないよう、受像機の画像破綻を回避する共用条件の確立に向け、引き続き検討が必要である。

OBWの許容値

OBWの許容値については、必要な探知性能を確保しつつ、隣接チャンネルへの影響

を与えないようパルスの波形を含め狭帯域化を検討することが望ましい。

參考資料

参考資料1 近年の災害の特徴

第1章の1.2.2.「近年の災害の特徴」は、気象庁がまとめた「災害をもたらした気象事例」、株式会社ウェザーニューズが取りまとめた「WxFiles」より引用し抜粋して記載している。「WxFiles」とは、気象学的に起こった現象についてまとめるだけでなく、気象現象から起こった実影響について、個人からのレポート等も含めてまとめた資料であり、気象庁がまとめた資料と共に、参考資料1として次ページ以降にまとめる。本資料は、気象庁およびウェザーニューズ社のホームページで参照できる。

令和 2 年 7 月豪雨

令和 2 年(2020 年)7 月 3 日～7 月 31 日

(これは速報であり、数値等は変わることがある)

概要

7 月 3 日から 7 月 31 日にかけて、日本付近に停滞した前線の影響で、暖かく湿った空気が継続して流れ込み、各地で大雨となり、人的被害や物的被害が発生した。気象庁は、顕著な災害をもたらしたこの一連の大雨について、災害の経験や教訓を後世に伝承することなどを目的として「令和 2 年 7 月豪雨」と名称を定めた。

7 月 3 日から 8 日にかけて、梅雨前線が華中から九州付近を通過して東日本にのびてほとんど停滞した。前線の活動が非常に活発で、西日本や東日本で大雨となり、特に九州では 4 日から 7 日は記録的な大雨となった。また、岐阜県周辺では 6 日から激しい雨が断続的に降り、7 日から 8 日にかけて記録的な大雨となった。気象庁は、熊本県、鹿児島県、福岡県、佐賀県、長崎県、岐阜県、長野県の 7 県に大雨特別警報を発表し、最大級の警戒をよびかけた。

その後も前線は本州付近に停滞し、西日本から東北地方の広い範囲で雨の降る日が多くなった。特に 13 日から 14 日にかけては中国地方を中心に、27 日から 28 日にかけては東北地方を中心に大雨となった。

7 月 3 日から 7 月 31 日までの総降水量は、長野県や高知県の多い所で 2,000 ミリを超えたところがあり、九州南部、九州北部地方、東海地方、及び東北地方の多くの地点で、24、48、72 時間降水量が観測史上 1 位の値を超えた。また、旬ごとの値として、7 月上旬に全国のアメダス地点で観測した降水量の総和及び 1 時間降水量 50mm 以上の発生回数が、共に 1982 年以降で最多となった。

この大雨により、球磨川や筑後川、飛騨川、江の川、最上川といった大河川での氾濫が相次いだほか、土砂災害、低地の浸水等により、人的被害や物的被害が多く発生した。また、西日本から東日本の広い範囲で大気の状態が非常に不安定となり、埼玉県三郷市で竜巻が発生したほか、各地で突風による被害が発生した。

(被害に関する情報は令和 2 年 8 月 4 日内閣府とりまとめ等による)

(以降詳細資料は省略)

1-1. 被害状況：冠水の報告

10月12日以降、台風による大雨の影響で大規模な冠水が発生しました。当社では冠水の状況を詳しく調べるため、13日0時から18時にかけて、全国のウェザーリポーターに冠水の状況について質問し、「冠水なし」「足首以上」「ひざ以上」「腰以上」の4択から回答していただきました。全国から寄せられた19,931件の報告のうち、冠水した回答をマッピングすると、概ね台風の経路に沿って冠水していることがわかります(図2)。

細かく見ると、長野県や関東・東北の太平洋側の地域を流れる流域面積の広い千曲川、多摩川、阿武隈川などの周辺で冠水報告が多く見られました。



図2：冠水状況のアンケート結果

1-2. 被害状況：暴風被害の報告

当社では暴風による被害状況を詳しく調べるため、12日9時から24時にかけて、全国のウェザーリポーターに周辺の暴風被害の状況について質問し、「被害なし」「家屋損壊」「倒木」「大きなものが飛んだ」の4択から回答していただきました。全国から寄せられた77,426件の報告のうち、「家屋損壊」、「倒木」、「大きなものが飛んだ」の件をマッピングしたところ、台風の進路の右側の方でより被害が深刻であることや、台風を中心から遠く離れた西日本の地域でも影響があったことがわかりました(図3)。

影響別に見てみると、家屋破損の被害は関東南部の沿岸に集中しており、倒木などの被害は西日本や北陸など広範囲に及んでいます。また、風速との関係性を調べたところ、家屋破損の被害は最大瞬間風速30m/s以上、倒木の被害は20m/s以上を観測した地域で多くみられることが明らかになりました。



図3：暴風による被害状況のアンケート結果

1-3. 被害状況：停電被害の報告

12日は強風や浸水の影響で、静岡県や関東、東北太平洋側を中心に、一時52万戸を超える大規模な停電が発生しました。当社では停電の被害状況を詳しく調べるため、13日0時から18時にかけて、全国のウェザーリポーターに停電の様子について質問し、「停電していない」「停電した(1時間未満)」「停電した(1時間以上)」「停電した(6時間以上)」の4択から回答していただきました。そのうち「停電した」という1,349件の報告をマッピングしたところ、被害報告は河川氾濫のあった千曲川や阿武隈川沿い、あるいは、最大瞬間風速25m/s以上の風が観測された伊豆半島や三浦半島、千葉県、茨城

県南部の地域に集中していることがわかりました(図4)。また、千葉縣市原市では竜巻の発生が確認されており、その影響で停電したと考えられます。



図4：停電に関するアンケート結果

1-4. 被害状況：ウェザーリポート

10月12日から14日にかけて、関東や東北を中心に、全国各地から43,764件の写真付きのウェザーリポートが届きました。台風通過後の13日と14日には、河川氾濫による浸水や道路崩落の様子の報告が相次ぎました(図5)。



10/13 9:44
埼玉県坂戸市

越辺川流域で寸標識は頭しか出てないですね。消防隊と自衛隊の方々が来ていました。



10/13 11:30
栃木県鹿沼市

栃木県鹿沼市の府中橋北側道路が河川増水により、道路崩落。橋を通行止めにして復旧作業中です。手前のポールから右側は道路があった所です。



10/13 14:33
長野県上高井郡小布施町

県道343号千曲川沿いから約200m離れた所から撮影。



10/13 15:04
宮城県多賀城市

こんにちは。朝、近所の道路が川になっていました。(´△´)



10/13 15:13
長野県長野市

千曲川の堤防が決壊し一帯は大変なことになっています。



10/13 15:48
神奈川県足柄下郡箱根町

こんなの初めてです。



10/13 15:49
群馬県前橋市

群馬大橋の下の生活道路です。



10/13 17:40
茨城県神栖市

10/13 4時過ぎ。



10/14 8:24
茨城県水戸市

常磐自動車道高架下。側道が崩落しました☹

10/14 13:42
茨城県久慈郡大子町

茨城県久慈郡大子町、久慈川の洪水被害。水郡線第6久慈川橋梁が流出しました。水郡線も被害は甚大です。

10/14 13:49
長野県上田市

橋が落ちています。

10/14 16:28
千葉県山武市

台風 15 号でも倒木による停電でしたが、台風 19 号でも倒木で停電しています。余程強い風が吹いたのだと思われます。木が電線の上に倒れ、電線は、たるみ電柱の上部は、折れています。

図 5：当社に寄せられたウェザーレポート

2. 大雨の状況

11 日から 13 日にかけて、広い範囲で総降水量 300mm を超える雨が観測され、特に多かった静岡県や山梨県、関東西部では 500mm を超える大雨となりました（図 1）。最も降水量が多かったのは神奈川県箱根で、24 時間降水量は観測史上 1 位となる 942.5mm を記録し、48 時間降水量は 1001.0mm に達しました。

また、12 日の日降水量は 922.5mm となり、2011 年に記録された魚梁瀬（やなせ）の日降水量 851.5mm を大きく上回って、日本全国のアメダスにおける統計史上 1 位の値を更新しました。箱根の 10 月の降水量の平年値は 334.3mm であることから、1 カ月の約 3 倍に相当する雨がこの 2 日間で降ったと言えます。

このほか、静岡県の伊豆市（湯ヶ島で 689.5mm）、埼玉県の秩父市（浦山で 635.0mm）、東京都の西多摩郡（小沢で 602.5mm）、宮城県の伊具郡（筆甫（ひっぽ）で 558.0mm）など、120 地点のアメダスで日降水量の観測史上 1 位を更新しました（表 1）。

表 1：各都道府県の最大日降水量を記録した地点

都道府県	市町村	地点	降水量 (mm)	統計開始年	記録
神奈川県	足柄下郡箱根町	箱根（はこね）	922.5	1976 年	観測史上 1 位
静岡県	伊豆市	湯ヶ島（ゆがしま）	689.5	1976 年	観測史上 1 位
埼玉県	秩父市	浦山（うらやま）	635.0	1977 年	観測史上 1 位
東京都	西多摩郡檜原村	小沢（おざわ）	602.5	1977 年	観測史上 1 位
宮城県	伊具郡丸森町	筆甫（ひっぽ）	558.0	1978 年	観測史上 1 位
栃木県	日光市	奥日光（日光）（おくにっこう）	481.0	1944 年	観測史上 3 位
群馬県	甘楽郡下仁田町	西野牧（にしのまき）	471.0	1976 年	観測史上 1 位
茨城県	北茨城市	花園（はなぞの）	455.5	1976 年	観測史上 1 位
福島県	双葉郡川内村	川内（かわうち）	428.0	1976 年	観測史上 1 位
長野県	南佐久郡北相木村	北相木（きたあいき）	395.5	2004 年	観測史上 1 位
新潟県	糸魚川市	能生（のう）	252.5	1976 年	観測史上 1 位

3. 河川の状況

3-1. 多摩川の水位

12日23時頃、東京都を流れる多摩川が世田谷区付近で氾濫しました。多摩川では、12日6時頃から台風の接近により強い雨が降り出し、上流の小河内では20mm/h以上の強い雨が12日5時から21時の16時間も続きました。世田谷では小河内ほどではないですが、10mm/hを超える雨が同じ時間帯に継続しました。

日降水量は小河内で556.0mm、世田谷で253.5mm、青梅で384.5mm、八王子で392.5mm、府中で289.0mmとなるなど、東京都の多くのアメダス地点で観測史上1位の記録を更新しました。

多摩川の水位は強い雨の降り出しから1~2時間遅れて急激に上昇し始めました。国土交通省の田園調布の観測をみると、それまで2m程度であった水位が、12日16時には氾濫危険水位である8.4mを超え、23時にピークとなる10.77mを記録したことがわかります。上流の青梅市の調布橋や、多摩川の支流である浅川の浅川橋でも同様の時間帯に水位が上昇しており、広範囲で降った記録的な雨が多摩川に流れ込み、最終的に氾濫の発生につながったと考えられます(図6)。

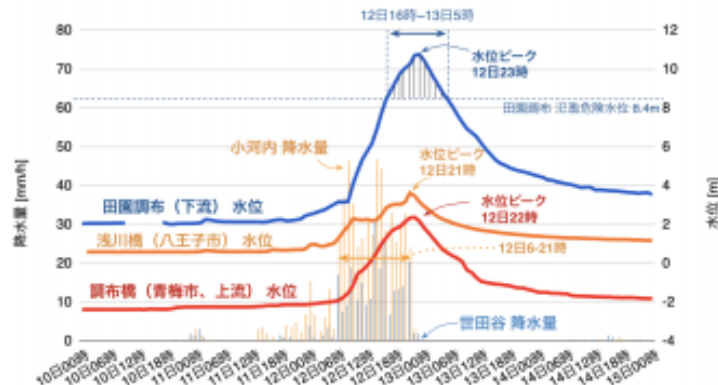


図6: 多摩川の水位と付近の降水量
(水位は国土交通省の観測、降水量は気象庁アメダス)

3-2. 千曲川の水位

大規模な氾濫となった長野県の千曲川では、上流に位置する佐久市(アメダス佐久)で12日0時頃から連続的に雨が降り始め、12日13時から20時にかけては20mm/hを超える強い雨が8時間にわたり降り続けました。このため、下越(しもごえ、佐久市)の水位はそれに呼応して上昇し、12日21時には4.77mに達しました(図7)。

佐久の日最大1時間降水量は10月としては観測史上1位となる35.0mm/h、12日の日降水量はこれまでの記録(1999年8月14日の205.0mm)を大きく上回る303.5mmとなりました。また表1のように、佐久市の南にある北相木でも395.5mmという観測史上1位の記録的な雨が降りました。

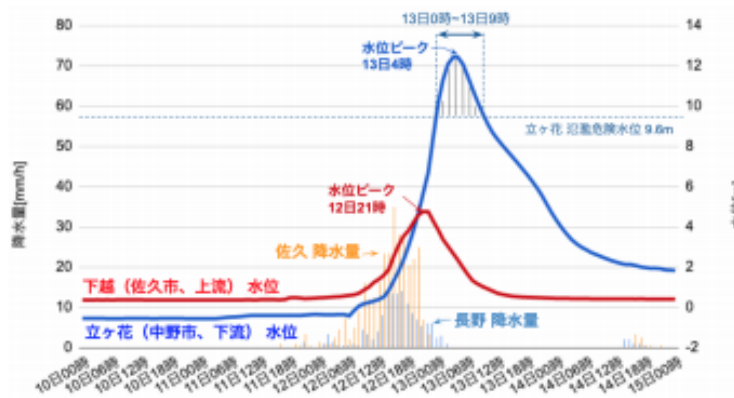


図7: 千曲川の水位とその付近の降水量
(水位は国土交通省の観測、降水量は気象庁アメダス)

このように過去にないような雨が流域に降り、千曲川に流れ込んだことにより、下越より約100km下流にある立ヶ花（たてがはな、中野市）では、氾濫危険水位の9.6mを大きく上回る12.44mという水位に達しました。また、最高水位を観測した時間は、下越で12日21時、立ヶ花で13日4時となり、上流と下流では約7時間の時間差がありました。千曲川は流域面積が7,163km²で、多摩川（1,240km²）と比べて非常に広く、上流部でより多くの雨が降ったことからこのような時間差ができたと考えられます。

3-3. 阿武隈川の水位

福島県や宮城県で洪水をもたらした阿武隈川流域でも、12日の昼頃から13日未明にかけて20mm/hを超える強い雨が降り続けました（図8）。阿武隈川の上流に近い白河では12日に日降水量が368.5mmとなり、観測史上1位を記録しました。下流に位置する宮城県の最も南にある筆甫（ひつぽ）では、最大で12日20時に74.5mm/hの非常に激しい雨が降り、日降水量が558.0mmとなって記録を更新しました。このため、阿武隈川の上流の須賀川（すかがわ）では水位が12時頃から上昇し始め、12日22時に氾濫危険水位を超えて13日3時頃から9.5mに達しました。下流にある丸森でも水位が12日18時頃から急上昇し、13日2時に氾濫危険水位を超え、最高23.44mを記録しました。

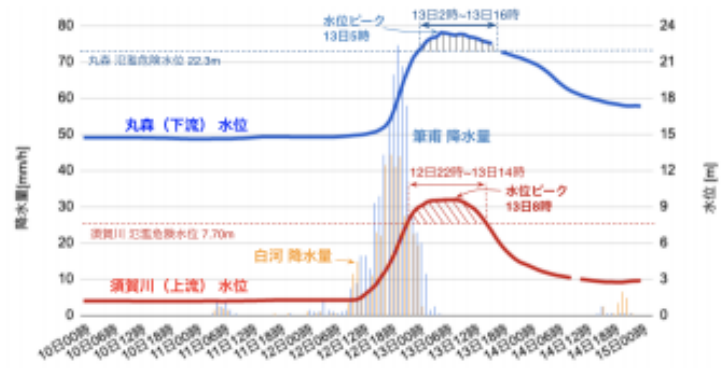


図8: 阿武隈川の水位とその付近の降水量
(水位は国土交通省の観測、降水量は気象庁アメダス)

4. 強風の状況

12日から13日にかけて、広い範囲で25m/sを超える強風が観測されました。特に風が強かった東京湾沿岸では、最大瞬間風速が江戸川臨海と横浜で43.8m/s、羽田で43.7m/s、千葉で40.3m/sなど、主に台風を中心付近かつ進路の右側で40m/s以上の猛烈な風を記録しました（表2）。

また、京都府の舞鶴で36.4m/s、山梨県の韮崎（にらさき）で35.0m/s、長野県の東御（とうみ）で30.6m/sの最大瞬間風速が観測されており、台風を中心から離れたところでも30m/sを超える強風が観測されました。

表2: 各都道府県における12~13日の主な最大瞬間風速

都道府県	市町村	地点	最大瞬間風速 (m/s)	記録更新時刻	統計開始年	記録
東京都	江戸川区	江戸川臨海（えどがわりんかい）	43.8	12日 21:17	2009年	観測史上1位
神奈川県	横浜市中区	横浜（よこはま）	43.8	12日 20:32	1938年	観測史上3位
東京都	大田区	羽田（はねだ）	43.7	12日 20:56	2009年	観測史上1位
千葉県	千葉市中央区	千葉（ちば）	40.3	12日 21:20	1966年	観測史上6位

静岡県	加茂郡南伊豆町	石廊崎（いろうざき）	36.7	12日 20:59	1940年	
京都府	舞鶴市	舞鶴（まいづる）	36.4	12日 17:22	1947年	
山梨県	荏苒市	荏苒（いらさき）	35.0	12日 21:09	2008年	観測史上1位
福島県	耶麻郡猪苗代町	猪苗代（いなわしろ）	34.3	12日 17:09	2008年	観測史上2位
宮城県	石巻市	石巻（いしのまき）	34.2	12日 18:44	1940年	
岡山県	勝田郡奈義町	奈義（なぎ）	33.5	12日 14:37	2008年	観測史上7位
福井県	小浜市	小浜（おばま）	33.3	12日 18:44	2008年	観測史上8位
茨城県	つくば市	つくば	32.5	12日 22:08	1950年	観測史上6位
新潟県	新潟市西蒲区	巻（まき）	31.9	12日 22:18	2009年	観測史上9位
岩手県	大船渡市	大船渡（おおふなと）	31.6	13日 03:41	1963年	
滋賀県	大津市	南小松	31.5	12日 20:40	2009年	観測史上5位
兵庫県	神戸市中央区	神戸（こうべ）	31.4	12日 11:52	1937年	
長野県	東御市	東御（とうみ）	30.6	12日 23:55	2008年	観測史上2位
石川県	輪島市	輪島（わじま）	30.1	12日 24:00	1929年	

台風15号と台風19号の風の分布を比較すると、15号の通過時は最大瞬間風速25m/s以上の風が台風の経路の周辺に集中していますが、今回は新潟県や長野県など台風の中心から離れたエリアでも観測されていることがわかります（図9）。19号は大型の台風で強風域も広がったことから、台風の中心から離れたところでも強い風が観測されたと考えられます。

一方で、今回の台風では15号通過時に観測された、最大瞬間風速50m/sを超えるような猛烈な風は観測されませんでした。2つの台風が関東を通過した時の気圧分布をウェザーニューズの独自観測機“WITHセンサー”のデータで比較すると、15号の方が中心付近で等圧線が混み合っており、気圧傾度が大きかったことがわかります（図10）。上陸後の19号は15号のような明瞭な台風の目を維持しておらず、中心付近の気圧傾度が15号ほど強くなかったため、50m/sを超えるような猛烈な風にはならなかったと思われます。ただ、東京や横浜は台風の進路の右側に入ったため、台風の移動速度の効果で15号の際より強い風となりました。

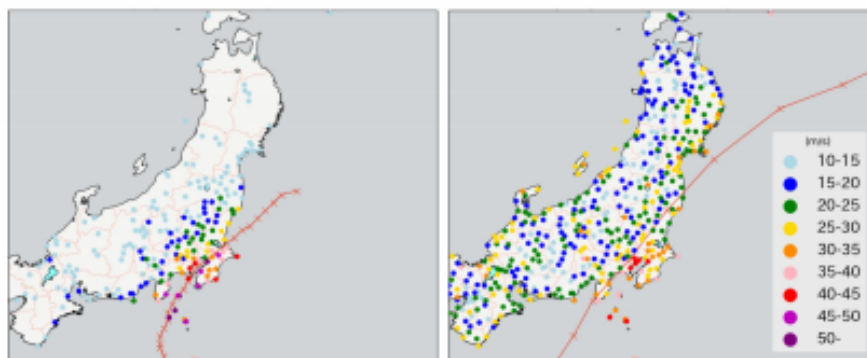


図9：台風15号(左)と台風19号(右)の最大瞬間風速と経路

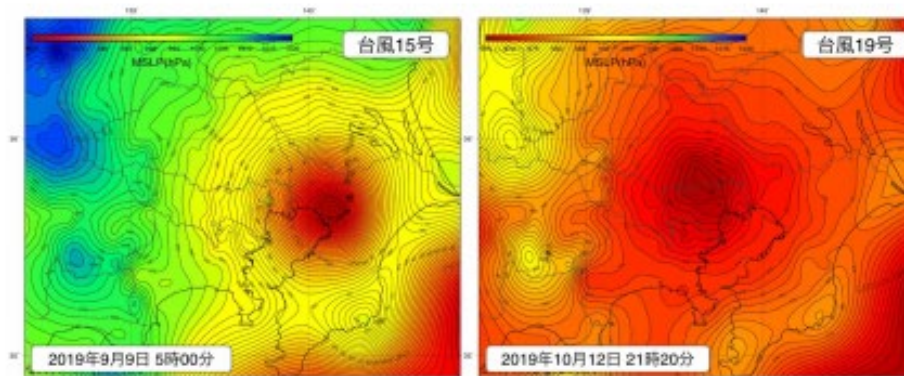


図 10: 台風 15 号 (左) と台風 19 号 (右) 通過時の WITH センサーの海面気圧

12日8時8分頃、千葉県市原市では竜巻が発生しました。竜巻が発生した時刻のレーダー降水強度を見ると、台風のアウターバンドに伴う強い降水域が市原市を通過していたことがわかります(図 11)。竜巻が発生した市原市では、住宅の屋根が吹き飛ばされたり、自動車が横転して乗車していた方が亡くなる等の被害が発生しました。気象庁はこの被害の状況から、JEF2(日本版改良藤田スケール、2は6段階で4番目の強さ)の竜巻が発生していたと推定しています。また、WITH センサーは竜巻が発生した時刻の付近で急激に気圧が下がっている様子を捉えました(図 12)。7時53分から8時3分の10分間で気圧が1.1hPa下がっており、竜巻をもたらした積乱雲のメソサイクロンの通過に対応していると思われます。

台風の接近時には、中心から離れた場所でも竜巻が発生することがあります。特に、台風を中心の北東側で発生しやすく、竜巻が発生した市原市も台風を中心の北東に位置していました。これまでに、2019年の台風17号や2006年の台風13号の際の宮崎県延岡市、1999年の台風18号の際の愛知県豊橋市など、いずれも中心の北東側にあたる地点でアウターバンドの通過に伴い竜巻が発生しています。

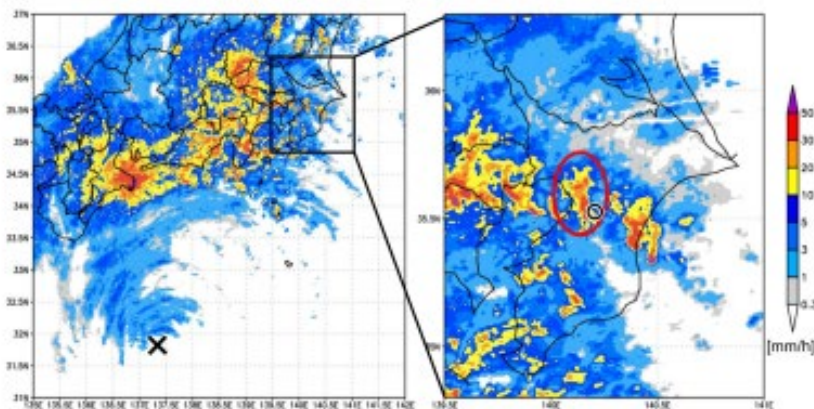


図 11: 12日8時10分の気象庁レーダーの降水強度。(×印は台風を中心位置、黒丸は竜巻による被害が発生した地点、赤丸で囲んだ領域は竜巻をもたらしたと思われる積乱雲を示す)

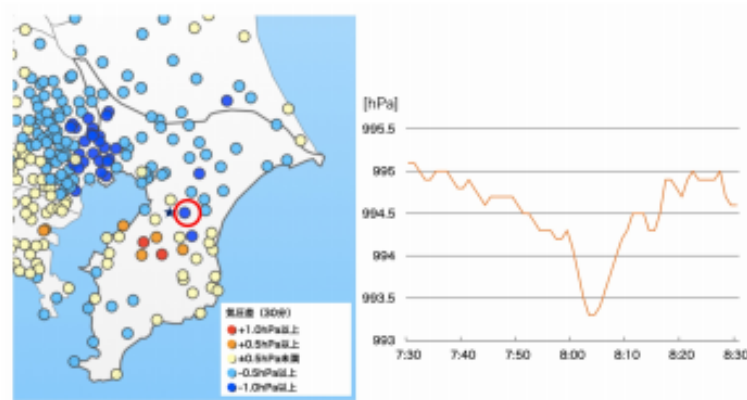


図 12: 左) 12日 8時 5分の WITH センサーの気圧変化 (星印は竜巻による被害が発生した地点)
 右) 竜巻による被害が発生した市原市永吉に近い、千葉県緑区の WITH センサーの時系列変化 (位置は図 12 左の赤丸)

5. 高波・高潮について

今回の台風では大雨や強風に加えて、全国の広い範囲で記録的な高波が発生したほか、東海～関東地方では過去最高の高潮が観測されました。この影響で、防波堤の損壊や道路の陥没、沿岸域での浸水などの被害がありました。

5-1. 高波の状況

台風 19 号は大型で猛烈な勢力となったため、日本の南海上では高波のエリアが大きく広がりました。9 日頃には、台風の北上よりも進行速度の速いうねりが、九州～本州太平洋側に到達し始め、静岡県の清水港では、10 日頃から 12 秒以上の周期の長い波 (うねり) が観測されました (図 13)。

その後、台風の接近・通過に伴い、四国～東北地方の太平洋側や、近畿地方の日本海側では 8～10m の有義波高が観測されました。京都府の経ヶ岬 (きょうがみさき) で 9.13m、静岡県の清水港で 8.03m、福島県沖で 10.01m、小名浜港で 7.99m を観測し、この 4 地点で観測史上 1 位を更新しました (表 3)。

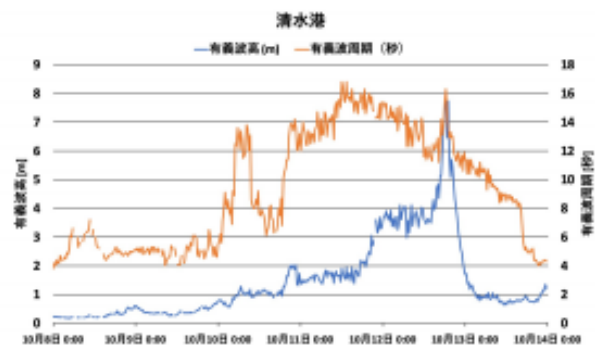


図 13: 清水港の有義波高と有義周期の観測値
 (国土交通省港湾局ナウファス)
 期間は 10 月 8 日 0 時～13 日 24 時

表 3: 今回の台風で記録を更新した地点とその最大有義波高

都道府県	地点名	今回の観測		これまでの最高		
		波高(m)	観測日時	波高(m)	観測日時	要因
静岡県	清水港	8.03	2019年10月12日 18時20分	6.87	2017年10月23日 04時00分	2017年台風21号
福島県	小名浜港	7.99	2019年10月13日 00時40分	7.73	2006年9月5日 3時20分	2006年台風12号
福島県	福島県沖	10.01	2019年10月13日 00時00分	9.64	2016年8月30日 12時40分	2016年台風10号
京都府	経ヶ岬	9.13	2019年10月13日 01時00分	8.45	2017年10月23日 06時00分	2017年台風21号

出典: 経ヶ岬は気象庁のレーダー式沿岸波浪計による観測
清水港、福島県沖、小名浜港は国土交通省港湾局ナウファスの観測（速報値）

5-2. 高潮の状況

台風19号の接近・通過に伴い、沿岸部では潮位が上昇し、御前崎、清水港、内浦、石廊崎、小田原、三宅島（坪田）の6地点で観測史上1位を記録しました（表4）。記録的な高潮が東海地方に集中した要因としては、12～13日が中潮から大潮の比較的潮位の高い時期であったこと、満潮時刻と台風の接近・上陸のタイミングが近かったこと、台風上陸時の中心気圧が955hPaと低く「吸い上げ効果」が大きかったことの3つが挙げられます（図14）。

表 4: 過去最高潮位を観測した地点とその潮位（※石廊崎は今回の観測期間中に欠測あり）

都道府県	地点名	今回の観測		これまでの最高		
		標高潮位 (cm)	観測日時	標高潮位 (cm)	観測日時	要因
静岡県	御前崎	182	2019年10月12日 17時04分	169	2004年10月09日 15時00分	台風22号
静岡県	清水港	170	2019年10月12日 17時35分	150	2017年10月23日 07時26分	台風21号
静岡県	内浦	149	2019年10月12日 18時40分	147	2017年10月23日 07時08分	台風21号
静岡県	石廊崎	200	2019年10月12日 15時05分	183	2009年10月08日 06時48分	台風18号
神奈川県	小田原	172	2019年10月12日 16時11分	123	2011年09月21日 16時09分	台風15号
東京都	三宅島 （坪田）	230	2019年10月12日 05時59分	193	2018年07月28日 17時44分	台風12号

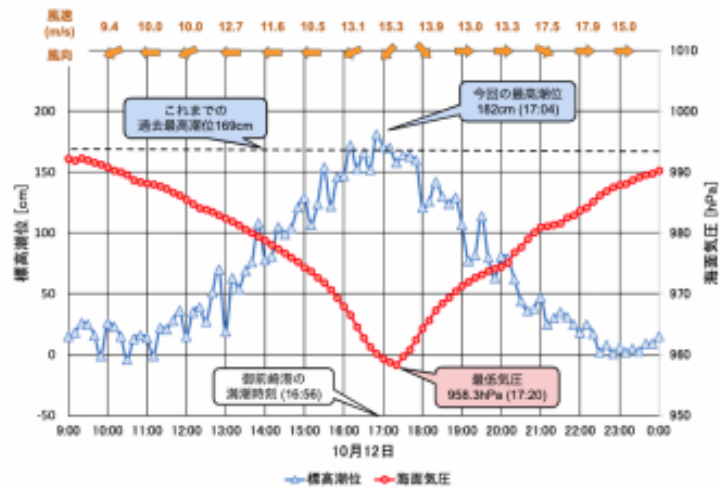


図 14: 12日の御前崎港における標高潮位と御前崎アメダスの海面気圧、風向風速の推移
(風向の矢印は右向きが西風、左向きが東風を示す)

一方、東京湾では台風的最接近が干潮時刻に近い時間帯となったため、潮位の記録を更新するほどにはなりません。ただ、天文潮位からの偏差（潮位偏差）は非常に大きく、東京では12日21時27分に159cmを観測しました。東京で過去に最高潮位を記録した1979年台風20号のときの潮位偏差が122cmであることから、台風19号の最接近時刻が数時間ずれて満潮に近いタイミングと重なっていれば東京湾でも記録的な高潮になっていた可能性があります。

6. 台風の経路

台風19号は10月6日3時に南鳥島近海で発生し、海面水温が29～30℃の暖かい海域を西北西に進みながら発達し、7日18時に大型で猛烈な勢力（最大風速55m/s）まで発達しました。米軍合同台風警報センター(JTWC)によると、ピーク時には1分平均最大風速が140knot(70m/s)を超え、“Super Typhoon”

(1分平均最大風速が130knot(65m/s)以上の台風)と呼ばれるレベルの勢力となりました。台風は8日から次第に北上をはじめ、12日6時に進路を北東に変えて進み、強い勢力で暴風域を伴ったまま12日19時前に静岡県伊豆半島に上陸しました。上陸後は関東の都心部を通過して福島県沖へ抜け、13日12時に日本の東海上で温帯低気圧に変わりました(図15)。

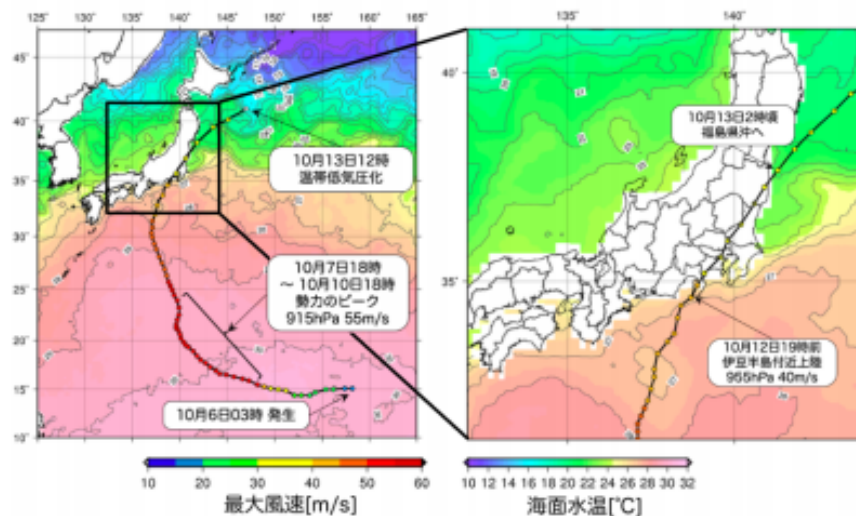


図 15: 台風 19 号の経路と海面水温
 (経路上の丸は左図では 3 時間毎、右図では 1 時間毎の位置で、色は最大風速を示す。
 海面水温は気象庁の 10 月 7 日のデータ)

台風 19 号の中心気圧・最大風速は、6 日 18 時に 992hPa・45knot であったのが 7 日 18 時には 915hPa・105knot となり、それぞれ 24 時間で 77hPa 低下し、60knot 上昇しました。このような非常に急激な発達には“Rapid Intensification”(複数の定義があるが、24 時間で中心気圧が 30hPa 以上降下または最大風速が 30knot 以上上昇というものが多い)と呼ばれ、勢力の強い台風の発達過程でよく見られる現象です。猛烈な勢力にまで発達した要因として、海面水温が高い状態であったことが挙げられます。台風が発生した南鳥島からマリアナ諸島周辺にかけての海域では、海面水温が 30℃を超え、平年より 1~2 度高い状態となっていました(図省略)。

7. 大雨の要因

今回、広い範囲で記録的な大雨となったのは、台風に加えて主に以下の 3 つの要因が重なって発生したと考えられます。

7-1. 秋雨前線との組み合わせ

台風接近前の 11 日、秋雨前線は本州の太平洋沿岸に停滞していました(図 16)。台風周辺をまわる暖かく湿った空気(暖湿気流)が秋雨前線に流れ込み、近畿地方や東日本では次第に強い雨が降り始めました。12 日朝には台風が東海地方から関東地方に接近しましたが、秋雨前線は東海地方や関東地方の沿岸に停滞していました。台風上陸後、前線は関東地方では北上しましたが、東北地方南部の太平洋側ではほぼ停滞しました。今回はこの秋雨前線の位置と強い雨の地域がよく重なっており、秋雨前線との組み合わせが大雨となった要因の一つと言えます。

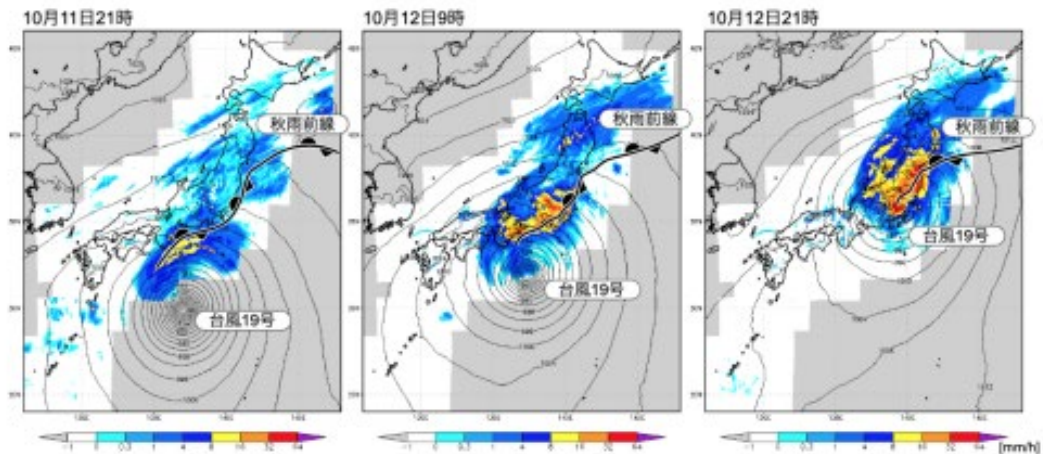


図 16: 地上天気図 (色はウェザーニュース解析雨量で-1 以下は解析範囲外を示す。
等値線は気象庁 MSM 実況解析の海面気圧 (hPa)。
秋雨前線はウェザーニュース独自解析であり、気象庁の天気図とは異なる。)

秋に台風との組み合わせで大雨をもたらす前線は沿岸付近に位置することが多く、前線両側の温度差が地上付近で大きくなる傾向がみられます。950hPa (上空約 500m) の相当温位 (気温、露点温度、気圧から計算される、空気の暖かさと水蒸気の多さの指標) で見ると、前線の北側では 330 度前後、南側では 345 度前後と、15 度もの差が見られます (図 17)。今回は、台風周辺の暖湿気流がこの前線の北側の相対的に冷たく重い空気の上に乗上げ、上昇気流となって、継続的に積乱雲を発生させたと考えられます。

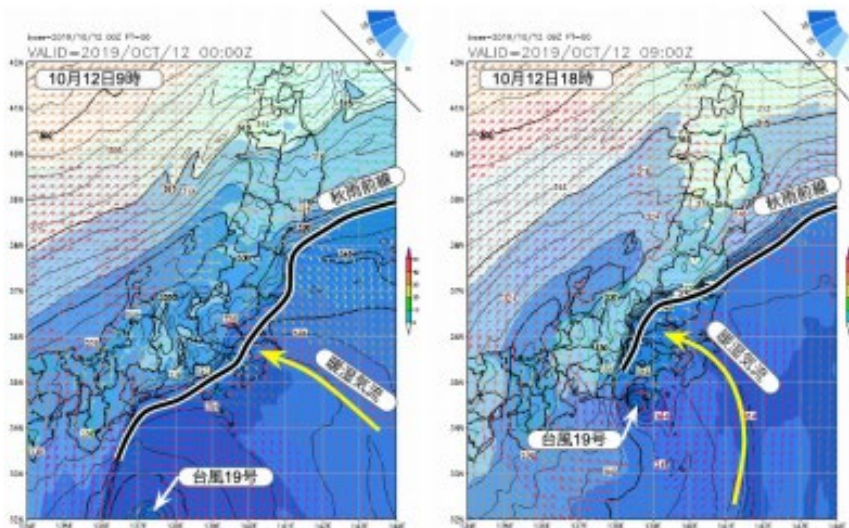


図 17: MSM 950hPa 相当温位 (左: 12 日 9 時, 右: 12 日 18 時)

7-2. 地形性の上昇気流

関東甲信での雨雲の発達には、地形の影響も考えられます。900hPa（上空約 1000m）の風の収束を見ると、南東からの暖湿気流がぶつかる関東西部や伊豆半島の山地に沿って収束域が見られます（図 18）。この地域で上昇気流が強まり、積乱雲を発達させていたと推測されます。

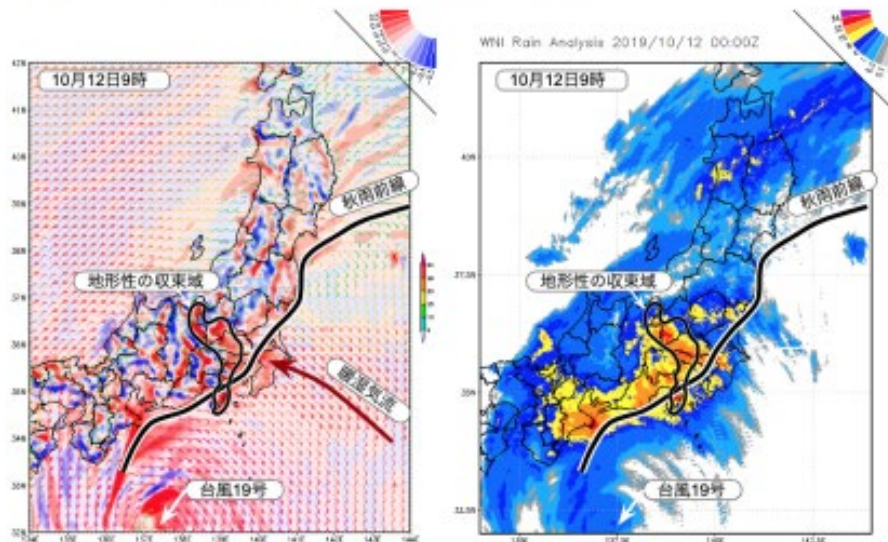


図 18: 左) 12日9時の900hPa（上空約1000m）の風の収束 (10^{-3} s^{-1})
 (赤が収束の強いところ、青が発散の強いところ。気象庁毎時大気解析)
 右) 同時刻のウェザーニュース解析雨量 (mm/h)。

7-3. 大型の台風

台風 19 号は大型で、勢力のピーク時から本州通過まで強風半径は 600～700km、暴風半径は 240～325km ありました（図 19）。11日の午後から強風域が本州太平洋側にかかり始め、12日深夜に台風が関東地方を抜けるまでの1日半の間、東日本は台風の強風域の中にあつたことになります。その間、台風周辺の暖湿気流が流れ込み、強い雨をもたらす積乱雲が発生しやすい状況が続きました。

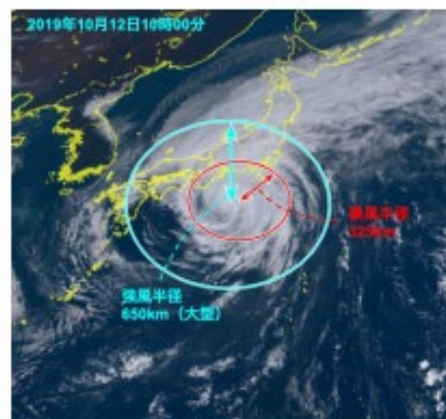


図 19: 気象衛星ひまわりの可視画像
 (10月12日10時、NICT ひまわりリアルタイムWebより。
 水色の丸は強風域を、赤色の丸は暴風域を示す)

まとめ

10月12日、台風19号は大型で強い勢力を保ったまま伊豆半島に上陸し、広い範囲に大雨と暴風をもたらしました。この大雨により、気象庁は台風上陸前に1都12県に大雨特別警報を発表しました。自治体、企業、個人の各々が警戒態勢をとって備えていましたが、土砂災害や多摩川、千曲川、阿武隈川などの流域面積の広い河川の氾濫が発生したことで、人的被害、家屋の浸水、停電、断水が相次ぐ甚大な被害が出ました。

大雨の要因としては主に3つ挙げられます。1つ目は、秋雨前線が本州の太平洋沿岸に停滞し、台風からの暖湿気流が前線に向かって流れ込んだこと、2つ目は、暖湿気流が関東地方西部や静岡県などの山地の斜面に沿って上昇し、上昇気流が強まったこと、3つ目は、東日本が600～700kmの大きな強風域に約1日半入り、暖湿気流が長時間に渡って流れ込んだことです。これらが重なった結果、積乱雲が発生・発達しやすい状況が続き、記録的な大雨になったと考えられます。

秋は台風と秋雨前線の組み合わせで大雨となることが多いため、引き続き注意が必要です。ウェザーニューズは、台風19号に関する[復旧支援の特設サイト](#)の開設や[LINEを用いた災害復旧支援](#)を実施するなどし、気象だけでなく復旧支援や二次災害を防ぐ情報を発信していきます。

令和元年8月の前線による九州北部の記録的な大雨について

Wx Files Vol. 51

2019年9月4日

はじめに

2019年8月27～28日、前線と湿った空気の影響で、九州北部を中心に記録的な大雨となりました。佐賀県では28日4時頃に1時間で100mmを超える記録的な大雨が降り、重大な災害が発生する可能性が高まったことから、気象庁は28日5時50分に佐賀県、福岡県、長崎県に対して大雨特別警報を発表しました。

この雨による死者は佐賀県で3名、福岡県で1名となっています(9月3日時点)。佐賀県を流れる六角川や牛津川があふれ、家屋や田畑の浸水被害が相次いだほか、排水不良で処理できなくなった雨水があふれる内水氾濫によって、大町町一帯で浸水しました。この浸水によって、病院の入院患者ら200名が3日に渡って孤立したほか、鉄工所から大量の油が流出しました。また、道路の冠水によって車の水没や立ち往生が発生し、救助要請が相次ぎました。大雨の影響で、28日早朝から交通機関も大幅に乱れ、JR九州や私鉄で一部運転を見合わせたほか、高速道路も九州道や長崎道などの一部区間で通行止めとなりました。長崎道の一部区間は、路面の隆起や地すべりによって現在も通行止めとなっており、復旧作業が行われています。

1-1. 被害状況：浸水被害の報告

表1：冠水・浸水状況のアンケート結果

各地で発生した大規模な冠水・浸水被害の全容を明らかにするため、8月28日11時から29日13時にかけてウェザーリポーターに緊急アンケート調査を実施しました。「周辺の冠水・浸水状況は？」と質問し、「腰以上」、「ひざ以上」、「足首以上」、「水たまり程度」から選択いただきました。被害が大きい佐賀県、福岡県、長崎県からは、腰以上5件、ひざ以上12件、足首以上57件、水たまり程度535件、合わせて609件の報告がありました(表1)。マップで見ると、佐賀駅の南側でひざ以上まで、大町町で腰以上の浸水があったことがわかります(図1)。

	腰以上	ひざ以上	足首以上	水たまり程度	計
佐賀県	2	11	38	60	111
福岡県	3	1	16	380	400
長崎県	0	0	3	95	98
3県	5	12	57	535	609



図1：佐賀駅周辺の冠水・浸水状況マップ

1-2. 被害状況：ウェザーリポート

8月28日には合計10,178通の写真付きのウェザーリポートが寄せられました(図2)。大雨となった佐賀県、福岡県、長崎県から計653通の報告が届き、河川増水や道路冠水などの報告が多く寄せられました。佐賀県からは前日の3倍のウェザーリポートが届き、ひざまで水が浸かっている様子や、川と道路の境目がわからない様子などが報告されました。



8/28 6:07 福岡県うきは市

水路の水が溢れて、家の前の道路は見えなくなりました…



8/28 7:01 佐賀県佐賀市

おはようございます。昨日からの雨で、川が氾濫して道路との境目がわからなくなっています。



8/28 7:17 福岡県久留米市

未明から激しい雨が降り続いています。



8/28 7:23 佐賀県佐賀市

佐賀駅北側が膝位まで水がきえています



8/28 7:33 佐賀県佐賀市

股下まで水がきてます。



8/28 7:37 佐賀県佐賀市

膝上まで浸かっています。家は床上浸水です。



8/28 7:43 佐賀県伊万里市

松浦川



8/28 10:17 長崎県大村市

(コメントなし)

図2:ウェザーリポーターから寄せられた報告

2. 大雨の状況

特別警報が発表された佐賀県、福岡県、長崎県では、27日0時から28日24時までの48時間降水量が広い範囲で300mmを超え、特に雨が集中した佐賀県では500mmを超えた場所もありました(図3、茶色のエリア)。

1日の降水量も多くのエリアで200mmを超えており、日降水量が最も多かった地点は佐賀県の白石で299.5mm、次いで長崎県の平戸292.5mm、佐賀県の佐賀283.0mmとなりました(表2)。また、佐賀の日降水量283.0mmを8月の降水量の平年値196.9mmと比較すると、1ヶ月分の約1.4倍にあたる量の雨が1日で降ったことがわかります。

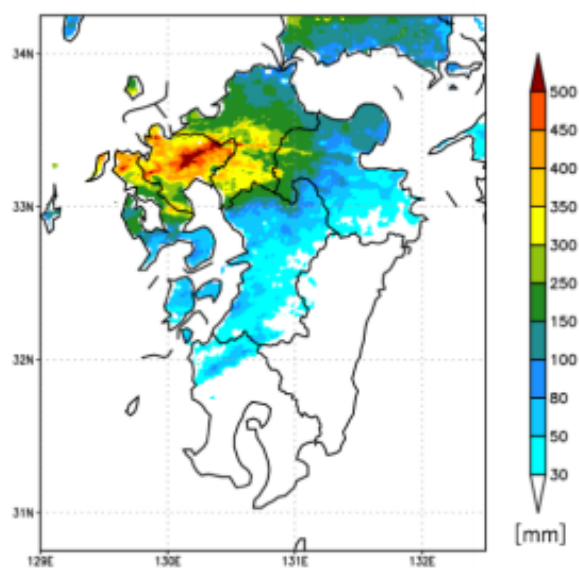


図3：ウェザーニュース解析雨量
(27日0時～28日24時の48時間降水量)

表2：8月27～28日に日降水量の記録を更新した地点
(記録を更新した地点のうち、200mm以上の降水を観測した地点)

県	市町村	アメダス	日降水量(mm)	記録
佐賀県	杵島郡白石町	白石(しろいし)	299.5	観測史上3位(8月28日)
長崎県	平戸市	平戸(ひらど)	292.5	観測史上8位(8月28日)
佐賀県	佐賀市	佐賀(さが)	283.0	観測史上4位(8月28日)
長崎県	松浦市	松浦(まつうら)	253.5	観測史上2位(8月27日)
佐賀県	伊万里市	伊万里(いまり)	253.0	観測史上5位(8月27日)
福岡県	八女市	黒木(くろぎ)	221.0	観測史上5位(8月28日)
長崎県	長崎市	長浦岳(ながうらだけ)	217.5	観測史上9位(8月28日)
佐賀県	唐津市	唐津(からつ)	216.5	観測史上1位(8月28日)
長崎県	北松浦郡小値賀町	小値賀(おぢか)	216.5	観測史上2位(8月27日)
福岡県	久留米市	久留米(くるめ)	216.5	観測史上6位(8月28日)
福岡県	久留米市	耳納山(みのうさん)	215.0	観測史上4位(8月28日)
佐賀県	佐賀市	北山(ほくざん)	208.5	観測史上3位(8月27日)

アメダス佐賀は28日3～6時に降水のピークを迎え(図4)、3時43分から4時43分の1時間で111.0mmの猛烈な雨が降り、観測史上1位を更新しました。また、アメダス白石でも3時41分から4時

41分の1時間で109.5mmを観測しました。佐賀県で1時間に100mm以上の雨が観測されたのは、1999年以來で20年ぶりのことです。

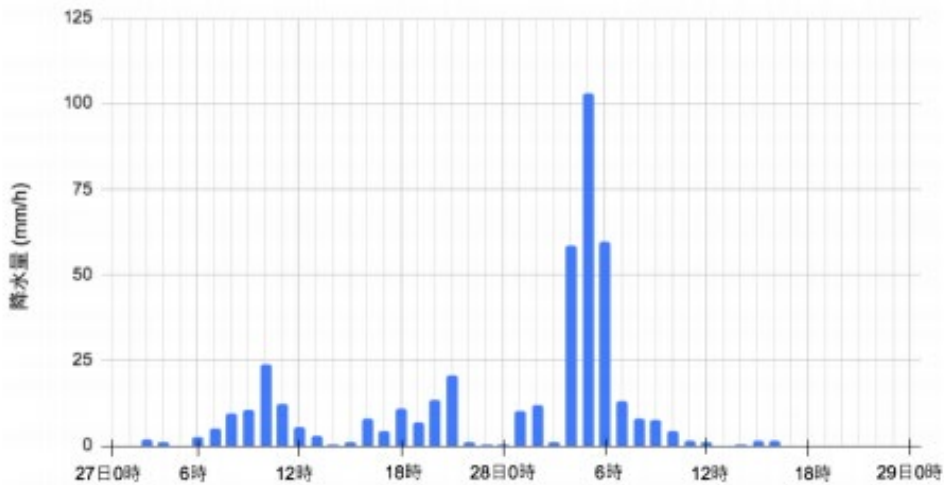


図4:アメダス佐賀の1時間降水量の推移

3. 大雨の要因

8月26日に九州南部に位置していた秋雨前線は、太平洋高気圧の強まりとともに、27日には九州北部やその北の対馬海峡付近まで北上しました(図5)。その後、日本海の前線上に低気圧が発生したことで、東シナ海から九州地方を通して低気圧に流れ込む暖湿気流が強まりました。28日の暖湿気流の温度は、950hPa(上空約500m)の相当温位が357~360Kであったことから、当時は暖かく非常に湿った空気が流れ込んでいたことがわかります(図6)。なお、2017年7月5日に発生した九州北部豪雨の時の950hPa相当温位が354~357K程度であることから、当時と同程度の暖湿気流であったと言えます。

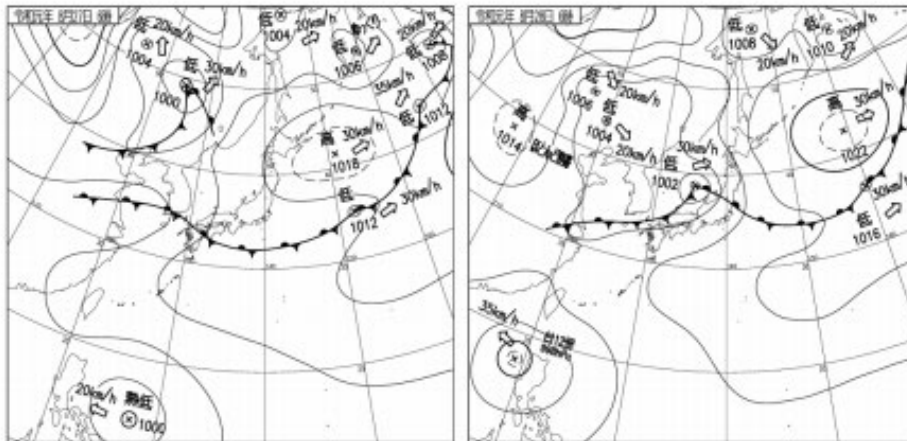


図5:地上天気図(左:8月27日6時、右:8月28日6時、気象庁)

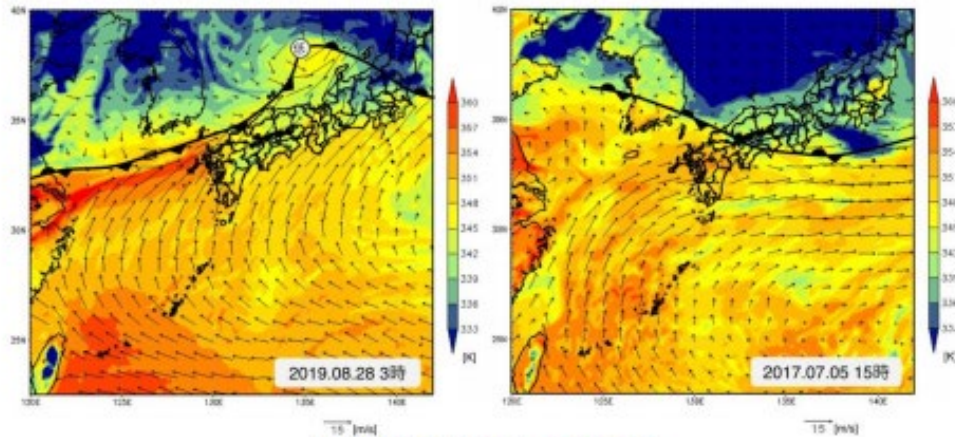


図 6: 950hPa(上空約 500m)の相当温位
(左: 8 月 28 日 3 時、右: 2017 年 7 月 5 日 15 時(九州北部豪雨の時)、ともに気象庁 MSM モデル解析値)

当時、秋雨前線は対馬海峡にあり、佐賀からは 100km ほど離れていました。そこで、佐賀に局地的な大雨をもたらした要因を調査したところ、局地的な前線の形成が大きく影響していることがわかりました。

28 日 4 時の気象データを解析したところ、長崎県北部～佐賀県～福岡県の有明海沿岸～熊本県に至る地域で、南北の気温差が大きい局地的な前線が形成されており、地上の気温は佐賀 23.8℃、長崎 27.5℃と、3.7℃の大きな気温差が生じていました(図 7)。この局地前線は、東シナ海から強く流れ込んだ地上気温 27～28℃の暖湿気が 23～24℃の相対的に冷たい空気にぶつかることでできており、長崎県から佐賀県へと北上し、数時間停滞しました。この局地前線付近では積乱雲が継続的に発生し、その雲が上空の風によって東北東に流されて、線状降水帯を形成しました。

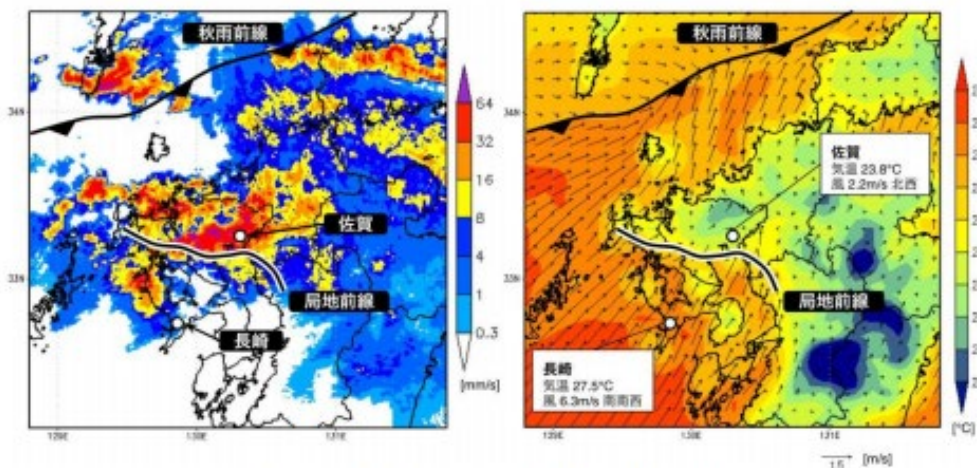


図 7: 左) 8 月 28 日 4 時のレーダー降水強度(気象庁)、
右) 同時刻の気象庁毎時大気解析の地上気温および地上風。
秋雨前線は 28 日 3 時の実況天気図より。
佐賀付近の黒実線は局地前線(南北の気温差が大きいところ)を示す。

局地前線付近のレーダーエコーの高さは10～12kmに達していました(図8)。局地前線付近では強い上昇気流が発生し、激しい雨をもたらす積乱雲が急激に発達しやすい状況になっていたと推測されます。この状況が継続したことが、佐賀に1時間雨量100mmを超える猛烈な雨をもたらしたと考えられます。

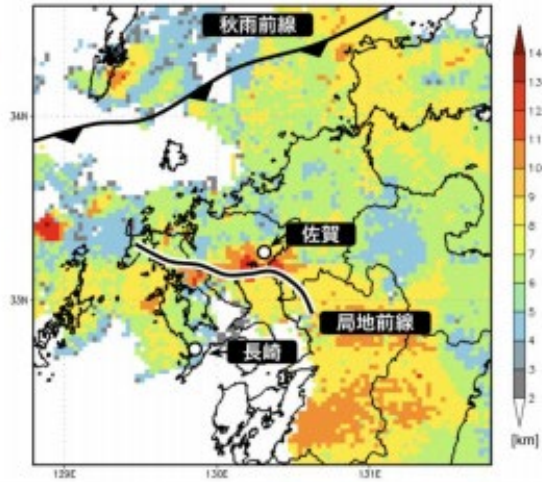


図8:8月28日4時のレーダーエコー頂高度
秋雨前線と局地前線については図7と同じ。

局地前線の動きを時系列で追ってみると、28日0時頃から4時頃にかけて長崎県の南から佐賀県へと北上してきたことがわかります(図9)。さらに詳しく解析するため、長崎県長崎市中里町に設置されたウェザーニュースの独自観測機器「WITHセンサー」の気温を見ると、2時3分には23.1℃であったのが、2時28分には25.0℃に変わり、25分間で1.9℃上昇していました。中里の32km北側に位置する佐賀県嬉野市のWITHセンサーでは中里から遅れて75分後に同様の気温上昇が見られました(図10)。この時間差と2地点間の距離から計算すると、局地前線は時速約25kmで北上していたことがわかります。その後、局地前線は7時頃にかけて佐賀市付近に停滞しました。

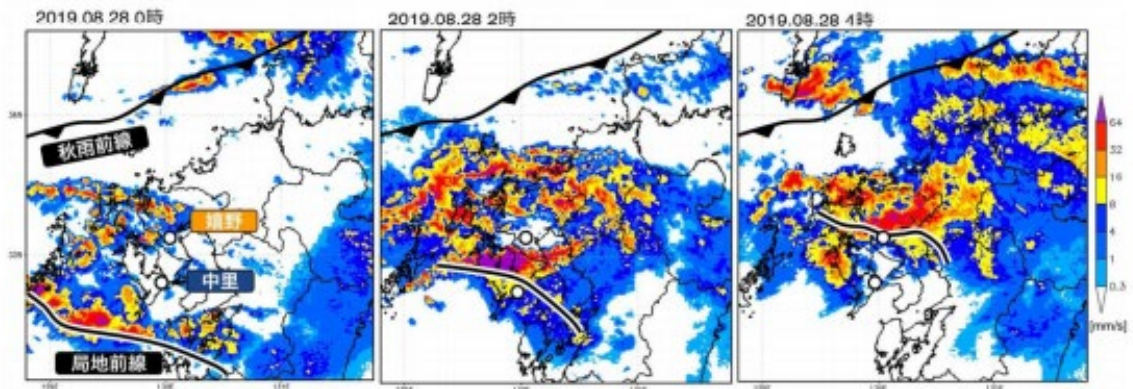


図9:8月28日0時、2時、4時のレーダー降水強度(気象庁)。
秋雨前線は28日3時の実況天気図より。黒実線は地上気温から解析される局地前線。



図 10: WITH センサーの気温変化の様子(青:長崎県長崎市中里町、橙:佐賀県埴野市塩田町)

まとめ

8月27～28日、佐賀県、福岡県、長崎県を中心に九州北部で記録的な大雨となりました。2日間の降水量は九州北部の広い範囲で300mmを超え、佐賀では28日3時43分から4時43分に観測史上1位となる111.0mm/hの猛烈な雨が観測されました。ウェザーリポーターに対して浸水被害のアンケート調査を実施したところ、被害が大きかった佐賀県、福岡県、長崎県から回答が多く寄せられ、佐賀駅の南側でひざ以上、大町町で腰以上の浸水があったことがわかりました。

秋雨前線から100km離れた佐賀で大雨となった理由としては、東シナ海からの暖かく湿った空気が九州北部に流れ込み、陸地の相対的に冷たい空気との温度差によって局地前線が発生したことが挙げられます。この局地前線が停滞していた数時間、前線付近で積乱雲が継続して発生し、上空の風で東北東に流されたことで線状降水帯が形成されました。WITHセンサーの観測データから、この局地前線は28日0～4時にかけて長崎県の南から佐賀県へ北上しており、7時にわたって停滞していたことがわかりました。

福岡県では2017年の九州北部豪雨から3年続けての特別警報となりました。秋は今回のように局地前線が発生したり、秋雨前線と台風が組み合わさることによって大雨が発生することがしばしばあります。大きな災害につながることもあるため、各自が必要な対策を意識し、日頃から注意しておくことが大切です。ウェザーニュースは、独自の観測インフラによる観測情報やウェザーリポーターの報告を気象予測に活用することで、被害軽減に努めていきます。

11 府県で大雨特別警報が発表された「平成 30 年 7 月豪雨」について

Wx Files Vol. 46

2018 年 7 月 10 日

はじめに

2018 年 7 月 3 日から 8 日にかけて、台風 7 号の接近や梅雨前線の停滞により、西日本や東海地方の非常に広範囲で記録的な大雨となりました。72 時間降水量が広島で 444mm、呉で 465mm、愛媛県の松山で 360.5mm となり、観測史上 1 位を記録しました。気象庁は 7 月 6 日より 11 府県に大雨特別警報を発表しました（6 日に福岡県、長崎県、佐賀県、広島県、岡山県、鳥取県、京都府、兵庫県、7 日に岐阜県、8 日に高知県、愛媛県）。福岡県は九州北部豪雨以来 1 年ぶり、京都府は 2013 年の台風 18 号以来 2 回目、他は県初の特別警報となりました。

今回の記録的な豪雨で死亡が確認された方は、10 日 2 時までに 124 人となりました。100 名を超えるのは 1983 年に梅雨前線に伴う大雨により島根県西部で土砂崩れや洪水が発生するなど、112 名が亡くなった「昭和 58 年 7 月豪雨」以来のことです。広島県では土砂崩れや河川の氾濫による被害が相次ぎ、45 人の死亡が確認されています。また、岡山県では 7 日に 9 つの河川が決壊しており、小田川が決壊した岡山県倉敷市では真備町の 3 割が浸水、4,500 棟が冠水するなどし、これまでに 29 人が死亡、一時 1,000 人以上が取り残される甚大な被害が出ました。愛媛県でも土砂崩れが多数発生し、25 人が死亡しました。この 3 県で総死者数の 85%を占めています。西日本の高速道路では一時、民営化以降最大規模となる 2,268km(速報値)の通行止めが発生しました。鉄道では 17 事業者 56 路線(速報値)が一時運休しました。橋の流出や土砂流入などが各線で起きており、復旧には時間がかかる見込みです。

1-1. 被害状況：浸水被害のアンケート調査

非常に広範囲に及んだ被害の全容を明らかにするため、7 月 7 日 18 時から現地のウェザーリポーターに緊急アンケート調査を実施しました。「一番高いときで、どの高さまで浸水しましたか?」と質問し、「腰以上の高さ」、「ひざ以上の高さ」、「足首以上の高さ」、「大きな水たまり程度」、「浸水なし」、「わからない」から選択いただきました。



図 1: 浸水被害状況 (9 日時点)

9日18時までに届いた約22,395件の回答の中から、被害の回答を抽出したところ、被害が大きい広島県、岡山県、愛媛県だけでなく、京都府以西の広い範囲で、ひざや腰以上の高さの浸水や土砂崩れによる家屋への被害が発生していたことがわかりました(図1)。

広島県、岡山県、愛媛県では“腰以上の高さ”の浸水が特に目立ちます。愛媛県では、“腰以上の高さ”の浸水報告のほとんどが、肱川(ひじかわ)氾濫の影響を受けた大洲市から寄せられました。一方で、広島県と岡山県の浸水報告のあるエリアは、24時間降水量や48時間降水量が観測史上1位を更新した地点と重なることから、長い時間の大雨が河川氾濫を引き起こし、大規模浸水につながったと考えられます。

※浸水被害状況

https://weathernews.jp/s/gensai/rain_eno201807/map.html



図2:岡山県・広島県・愛媛県の浸水被害状況(7日時点)

土砂崩れの状況についても同様にアンケート調査を行いました。7日18時から9日18時までに届いた約22,796件の回答から、土砂崩れが“発生し、家屋に被害”、“発生したが、被害なし”から選択いただきました。土砂崩れで多くの死者が出ている広島県、愛媛県、岡山県を中心に、家屋への被害が広い範囲で見受けられます(図3)。



図3:土砂崩れの状況(9日時点)

1-2. 被害状況：災害要因で見た人的被害

当社で10日2時までの人的被害(死者数)を災害の種類ごとにまとめたところ、土砂災害が約6割、河川の氾濫やため池の決壊が約3割、川や用水路への転落が約1割となり、土砂災害による被害が最も甚大であることがわかりました。分布としては、土砂災害による死亡は、広島県、岡山県、愛媛県で多く確認されました(図4)。一方で、河川の氾濫やため池の決壊については岡山県と広島県の3市町村のみで、場所は少な



図4:災害要因別の人的被害分布(10日2時時点)

いものの、死者数としては約3割を占めていることから、一度河川氾濫が起きると大きな被害をもたらすと言えそうです(表1)。

表1:災害要因別の人的被害数(10日2時時点)

	土砂崩れ	川氾濫・ため池決壊	川・用水路への転落
市区町村(数)	22	3	10
市区町村(割合)	62.8%	8.6%	28.6%
人的被害者(数)	75人	33人	16人
人的被害者(割合)	60.5%	26.6%	12.9%

1-3. 被害状況：減災レポート

当社には、被害が拡大した7月5～8日の4日間で、合計45,015通の写真付きの報告が届きました(図5)。被害に関する報告は、浸水の写真を中心に7日に最も多く寄せられました。



7/6 6:08 和歌山県和歌山市
とむさん

川が氾濫して道路が川になっています



7/6 9:06 福岡県北九州市門司区
こんぺーとーさん

山からの土砂で県道262号線が通行止め…
前は土砂、後は倒木と土砂で塞がれて身動きが全くとれん…



7/7 5:59 兵庫県神戸市北区
はるりおさん

山水が大量に溢れ出し、道路が冠水しました。中央に行くと膝下まで水に浸かります。今日は部屋に籠ることにします。



7/7 8:24 岡山県倉敷市
ゆらさん

用水路は溢れています
まだ増えそうな感じがします



7/7 9:14 愛媛県八幡浜市
QEQさん

土砂崩れが起きています



7/7 12:50 広島県広島市東区
べんちゅらさん

土砂と一緒に資材置き場の材木も流れ出して、民家に被害を出したということです。



7/7 17:03 広島県呉市
あゆとさん

国道です(´_`;) 陸の孤島となっています
復旧まで何週間かかるやら？



7/7 17:03 京都府福知山市
京都府福知山大江町常津の空さん

河川が氾濫し道路が浸水していません。



図 5: ウェザーレポート

この他の被害に関するウェザーレポートは「減災レポートマップ」からご覧いただけます。

減災レポートマップ: https://weathernews.jp/gensai_map/

※「減災レポート」はスマホアプリ「ウェザーニュースタッチ」を通して、当社子報センターに寄せられる被害報告です。当社では、被害がいつ・どこで・どんな原因で発生したかを共有し、少しでも被害を軽減することを目的に、自助・共助による減災の取り組みを進めています。

また、今回新たな取り組みとして、Twitter Japan 株式会社の協力を得て、ウェブサイト「#減災レポート」を公開しました。Twitter にハッシュタグ「#減災レポート」を付けて寄せられた被害報告をマップで確認できます (図 6)。

#減災レポート:

<https://weathernews.jp/s/gensai/twitter/>

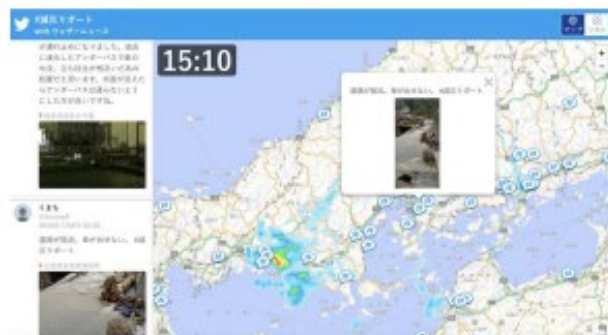


図 6: #減災レポート

2. 大雨の状況

西日本から東海地方では3日0時から8日0時までの5日間の雨量が広い範囲で400mmを超えました。特に四国太平洋側や東海地方では5日間で1,000mmを超える雨が降り、九州地方や近畿地方の中部から北部でも600mmを超えた地域が見られました (図 7)。

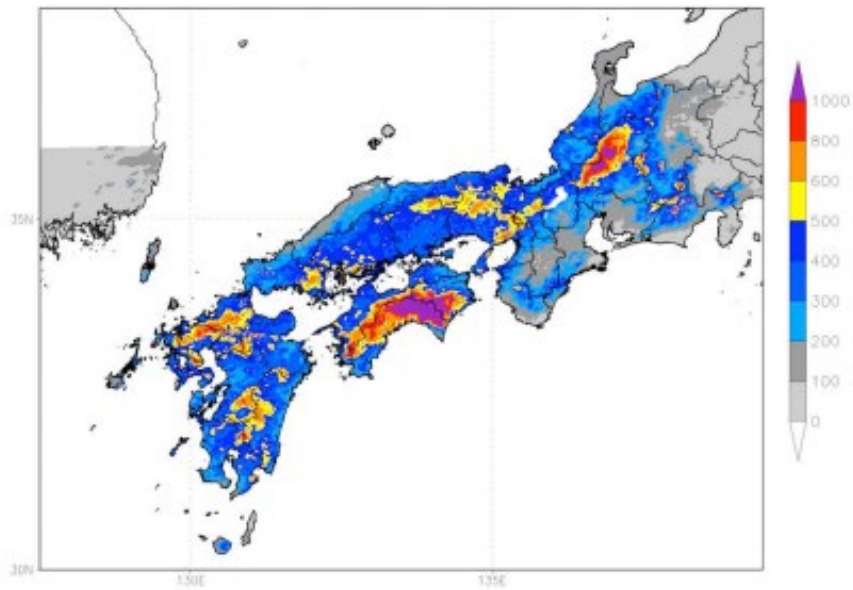


図 7: 7月3日0時から8日0時の積算雨量(単位 mm、ウェザーニュース解析雨量)

降水量の記録は数多くの地点で塗り替えられ、最も多く雨が降った高知県の魚梁瀬（やなせ）では、7日、72時間降水量の日最大値1,319.5mmを記録し、観測史上1位を更新しました。岐阜県の関市板取（いたどり）の742mm、福岡県の添田（そえだ）の539mmなども観測史上1位となり、広範囲にわたって記録的な大雨となりました（図8）。

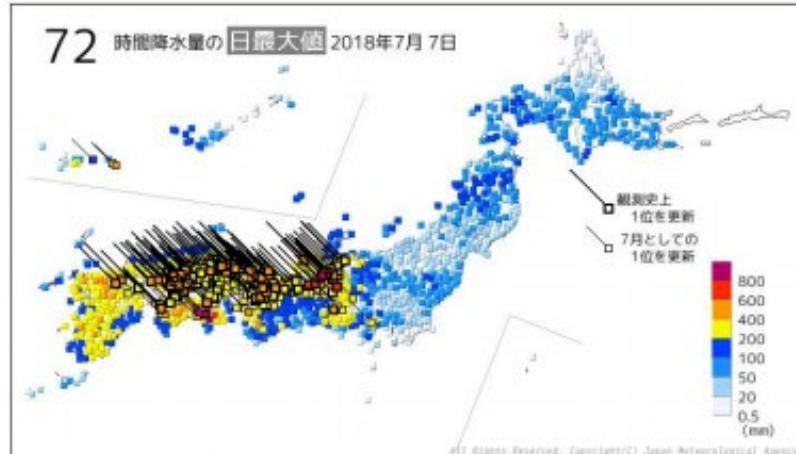


図 8: 72時間降水量の日最大値日(7月7日、気象庁)

土砂崩れが多数発生した山口県、広島県、愛媛県でも、72時間で400mmを超える雨が降り、多いところでは500mmを超えました。広島では444mm、呉では465mmを記録し、観測史上1位となっています。

大規模な河川氾濫が発生した岡山県の72時間降水量は300～400mmでした。岡山県は比較的雨が少ない地域のため、記録を更新した地点も多くありました。被害が大きい倉敷では、8日に72時間降水量の日最大値が276.5mmで7月の観測史上1位を記録しました。今回、氾濫した小田川や同じ河川系である高梁川（たかはしがわ）では、1985年6月22～25日に倉敷で72時間に最大205mmの雨が降り、洪水が発生するなどしており、過去に同程度の降水量で度々氾濫が起きています。地域によって雨量による影響は大きく変わり、この流域では72時間で200mmを超える雨が予想される場合は災害に注意が必要です。

3. 大雨の要因

梅雨前線の停滞と南西風による水蒸気の供給

東シナ海を北上してきた台風7号が2日から3日にかけて九州の西海上を通過し、南海上から非常に湿った空気が九州、四国、中国地方に流れ込み、激しい雨をもたらしました。台風は4日15時に日本海上で温帯低気圧に変わりましたが、低気圧に向かって流れ込む南西からの湿った気流は続き、四国、近畿、東海地方を中心に強い雨が降りました。5日には、低気圧は北海道付近に進みましたが、西日本では梅雨前線が停滞し、7日にかけて上空1,500m付近（850hPa高度）で20m/s以上の強い南西風が継続しました。この強い南西風が多量の水蒸気を供給し続けたと考えられます。（図9）

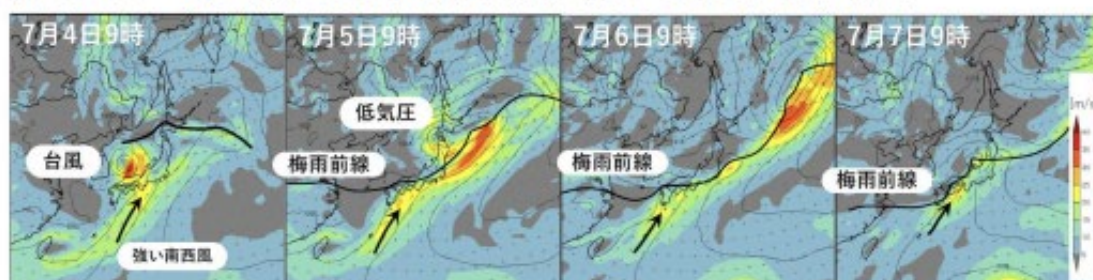


図9: 地上の気圧配置(等値線:海面気圧、矢印:850hPa高度での風、色:850hPa高度での風速)

気圧配置を見ると、4日に台風が温帯低気圧に変わった後、本州を挟んで朝鮮半島付近の上空に気圧の谷、本州の南東に太平洋高気圧という配置が7日にかけての4日間続きました。日本の西側に気圧の谷がある状況では、日本付近では一般に南西寄りの風が吹きやすく、上昇気流が発生しやすくなります。この気圧配置が継続することで、停滞する梅雨前線に南西からの湿った空気が流れ込み、上昇して積乱雲を発達させるという状況が4日間にわたって継続したことが大雨の要因と考えられます(図10)。

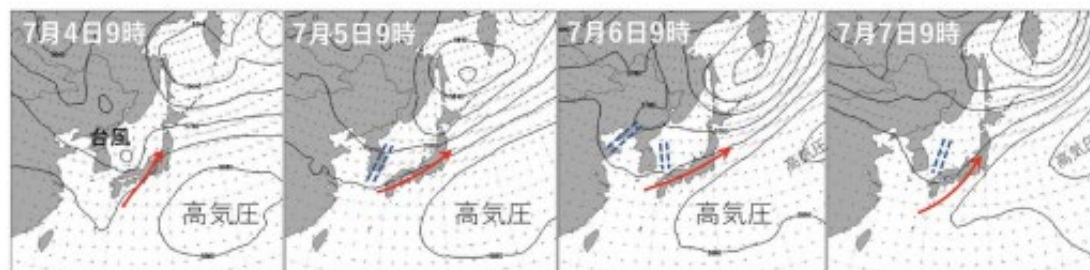


図10: 上空の気圧配置(等値線:500hPa高度、灰色矢印:500hPa高度での風、赤矢印:上空の強い風、破線は気圧の谷)

4. 広島・岡山の雨

小田川の氾濫した岡山県の倉敷やその流域にある佐屋（さや）、矢掛（やかけ）の雨量の推移を見ると二度のピークがあり、5日の午後と6日の夜から7日の朝にかけて雨が強まり、20～30mm/h程度の強い雨が降りました。ピークを過ぎた8日0時までの積算雨量は佐屋で406.5mm、矢掛で297mm、倉敷で292mmを観測しました（図11）。

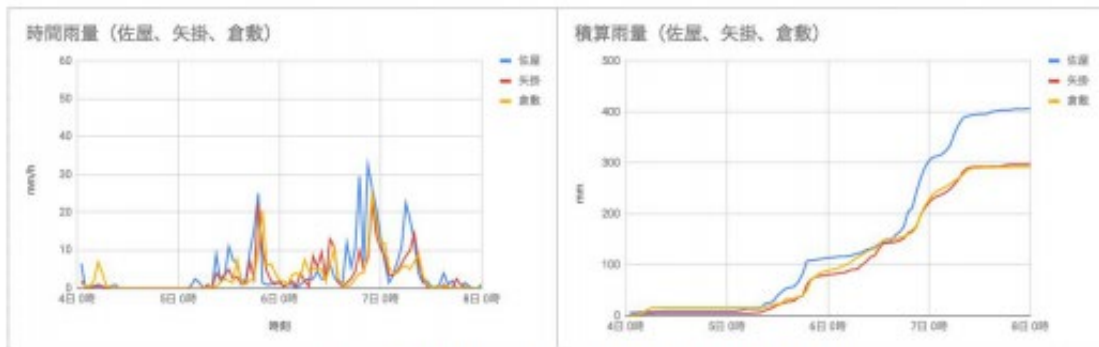


図11: 倉敷、佐屋、矢掛の時間雨量(左)と積算雨量(右)(気象庁アメダス)

土砂崩れが多数発生した広島、呉、福山においても同様に、5日の午後と6日の夜から7日の朝にかけて雨の強まりが見られ、最大で40～50mm/hの激しい雨が降りました。4日0時から8日0時までの積算雨量は、広島で419.5mm、呉で436mm、福山で374.5mmを観測しました（図12）。

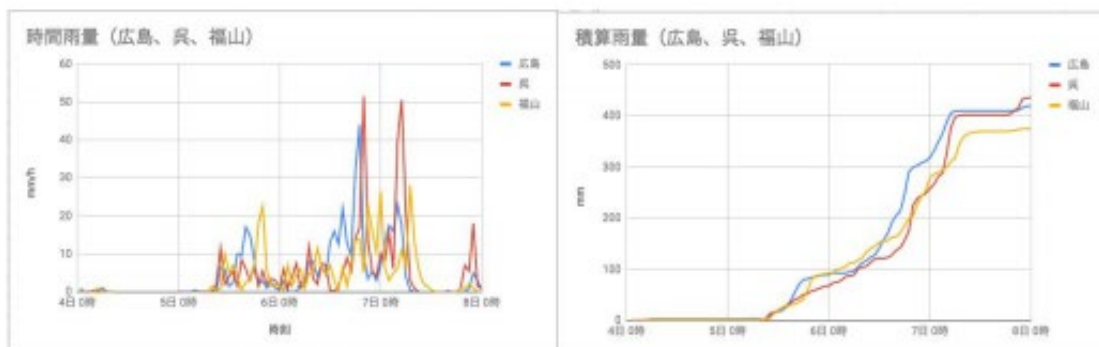


図12: 土砂崩れの発生した広島、呉、福山の時間雨量(左)と積算雨量(右)(気象庁アメダス)

岡山や広島の二度の雨の強まりには、梅雨前線の動きと小さな低気圧が関係していると考えられます。5日から7日にかけて西日本に停滞した梅雨前線を詳細に見ると、南北方向の動きがあったことがわかります（図13）。5日午後に強い雨を降らせた後、梅雨前線が一旦、四国地方へ南下したことで雨は弱まり、上空の気圧の谷の接近に伴って6日午後から7日朝にかけて再び中国地方へと北上したことで激しい雨となりました。

また、梅雨前線上には小低気圧も解析され、雨が強まった6日午後から7日にかけて九州北部から中国地方へと進む様子が見られました。このような梅雨前線上の小低気圧の通過が、南西からの風、つま

り水蒸気の流入をより強めたことで、雨をより強めていたと推測されます。

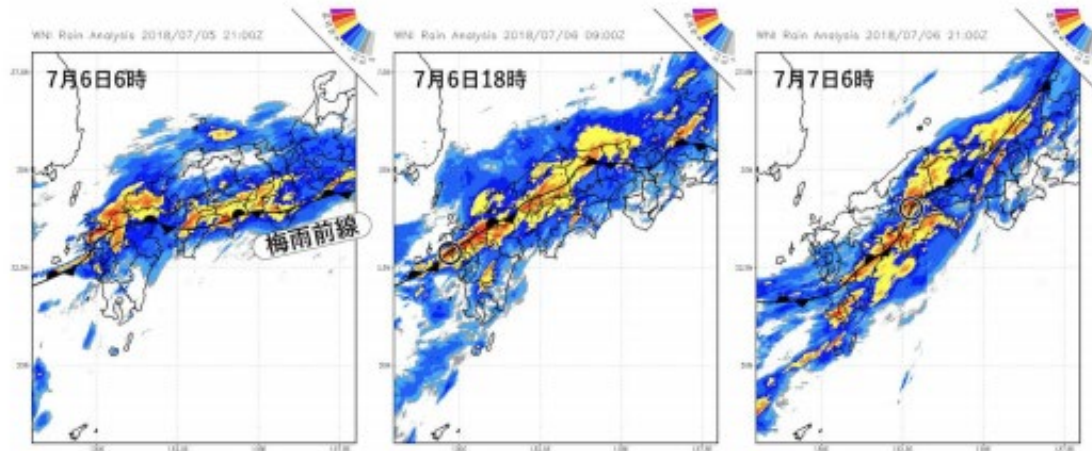


図 13: 雨の分布の時間変化(ウェザーニュース解析雨量、色: 時間降水量 (mm)、梅雨前線上の丸: 小低気圧)

まとめ

2018年7月3日から8日にかけて、台風7号の接近や梅雨前線の停滞により西日本から東海地方を中心に広範囲で大雨となり、土砂崩れや河川氾濫などにより死者100名を超える大災害となりました。当社は被害状況をつかむため、ウェザーリポーターに浸水や土砂崩れに関するアンケート調査を実施しました。その結果、被害が大きい広島県、岡山県、愛媛県だけでなく、近畿地方や九州地方なども含めて西日本の広範囲で、ひざや腰の高さ以上の浸水や土砂崩れによる家屋への被害が発生していたことがわかりました。

降水量が400mmを超えた地点は西日本のほぼ全府県に及び、広い範囲で記録が更新されました。この大雨は、朝鮮半島付近に気圧の谷、本州の南東に太平洋高気圧という気圧配置の状態が続き、梅雨前線が西日本に停滞して湿った空気の流入が続いたことで引き起こされました。また、場所ごとの雨の強さの変化は梅雨前線の動きと対応しており、気圧の谷の接近に伴って発生した梅雨前線上の小低気圧の通過が雨をより強めていたと考えられます。

なお、西日本の広い範囲で梅雨が明け、今後平年より気温の高い状態が続きます。厳しい暑さの中での復旧作業となりますので、屋外や避難所では熱中症に対する注意が必要です。また、これまでの雨で地盤が緩んでいるところもあるため、少しの雨で再び土砂崩れが発生する恐れがあります。当社は近日中に「平成30年7月豪雨」に関する特設サイトを開設し、減災・防災につながるような情報をいち早く発信していきます。

7月5日、梅雨前線による九州北部の大雨について

Wx Files Vol.40

2017年7月7日

1. はじめに

2017年7月5日、九州北部にバックビルディング型の線状降水帯が形成され、福岡県や大分県を中心に記録的な大雨となりました。朝倉（福岡県）と日田（大分県）の日降水量は、観測史上1位を記録しました。この大雨により河川の氾濫や建物の浸水被害、土砂災害が発生し、20名を超える犠牲者や行方不明者が出ました（7日現在）。また、鉄道では、九州新幹線や多くの在来線の一部区間が運休となり、高速道路や国道でも通行止めが相次ぎました。以下では大雨の状況や要因について振り返ります。

2. 被害状況

7月5日から6日にかけて、福岡県と大分県のウェザーリポーターから被害状況を報告する「減災リポート」(※1)が1,270通ほど届きました(図1)。福岡県うきは市からは流木が国道を塞いでいるという報告があり、大分県日田市からは道路冠水や土砂崩れなどの被害報告が寄せられました。



7/5 17:53 福岡県田川郡大任町
あふれたです



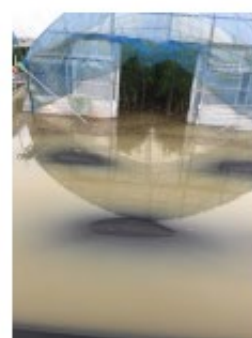
7/5 17:56 福岡県久留米市田主丸町みのう連山の麓
今は小康状態ですがレーダーでは真っ赤赤。特別警戒情報がでました



7/6 6:59 福岡県うきは市
倒木が流れてきて、国道を塞いでます



7/6 8:21 大分県日田市大字有田
自宅前土砂崩れ道路半分埋もれた。



7/6 10:09 佐賀県佐賀市
アスパラハウスが冠水中

図1：九州から寄せられた「減災リポート」

※「減災レポート」はスマホアプリ「ウェザーニューズタッチ」を通して、当社予報センターに寄せられる被害報告です。当社では、被害がいつ・どこで・どんな原因で発生したかを共有し、少しでも被害を軽減することを目的に、自助・共助による減災の取り組みを進めています。減災レポートマップ http://weathernews.jp/gensai_map/

3. 大雨の状況

7月5日、九州北部では激しい雨が降り続き、記録的な豪雨となりました。5日の日降水量は、朝倉（福岡県）で516.0mm、日田（大分県）では336.0mmを記録し、観測史上1位の記録となりました（表1）。また、1時間降水量も朝倉で129.5mm、日田で87.5mmとなり、それぞれ1位、2位の記録となっています（表2）。

表1：7月5日の日降水量（アメダス）

都道府県	アメダス地点	降水量 (mm)	記録
福岡	朝倉	516.0	観測史上1位(通年)
大分	日田	336.0	観測史上1位(通年)

表2：7月5日の1時間降水量（アメダス）

都道府県	アメダス地点	降水量 (mm)	記録
福岡	朝倉	129.5	観測史上1位(通年)
大分	日田	87.5	観測史上2位(通年)

過去20年における6月・7月の最大日降水量と、観測史上最大となった2017年7月5日の日降水量を比較しました（図2）。朝倉、日田の両地点において、過去20年の最大日降水量を大きく上回っていることがわかります。

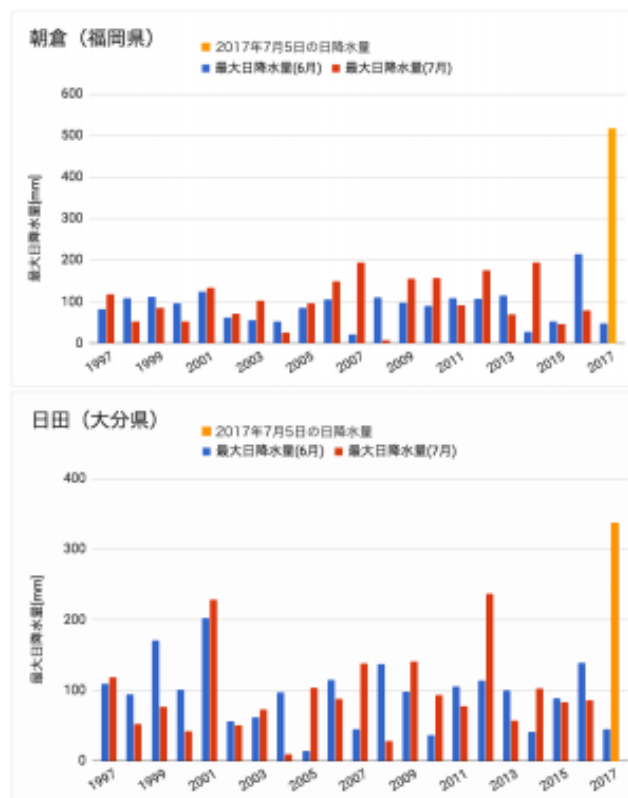


図2：過去20年における6月・7月の最大日降水量と2017年7月5日の日降水量の比較
上：朝倉（福岡県）、下：日田（大分県）

朝倉では5日9時頃から雨が降り始め、12時頃から約10時間にわたって激しい雨が継続しました(図4)。ピーク時には、15時38分に129.5mm/h(正時の観測では16時に106.0mm/h)の猛烈な雨が降りました。

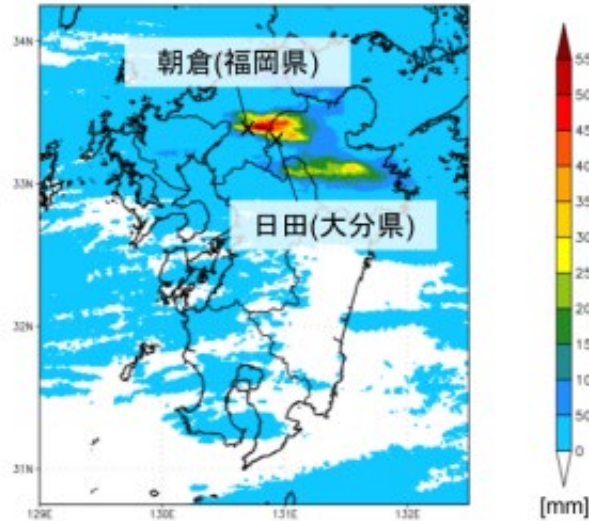


図3：5日0時～6日0時の24時間降水量(ウェザーニュース解析雨量)

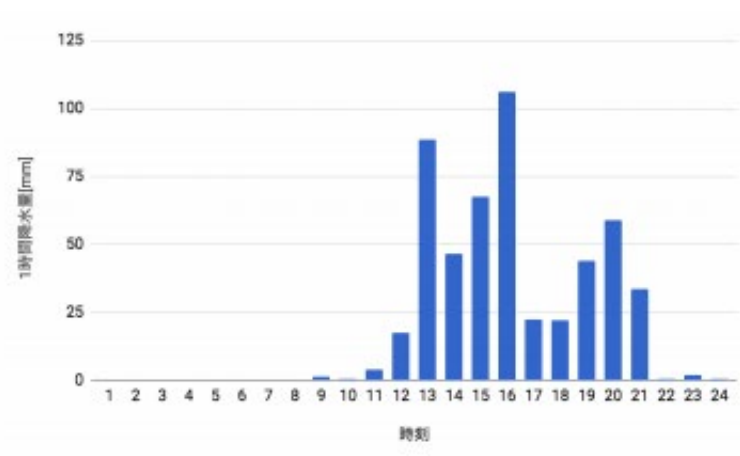


図4：朝倉の1時間降水量(アメダス)

ウェザーニュースの解析雨量によると、9時には前線による雨が中国地方で降っており、九州北部では雨雲が散在していました。12時頃には九州北部が雨の中心となり、福岡県朝倉市付近で東西に伸びる帯状の強雨「線状降水帯」が発生し始めました。その後、線状降水帯は21時頃まで継続しました(図5)。

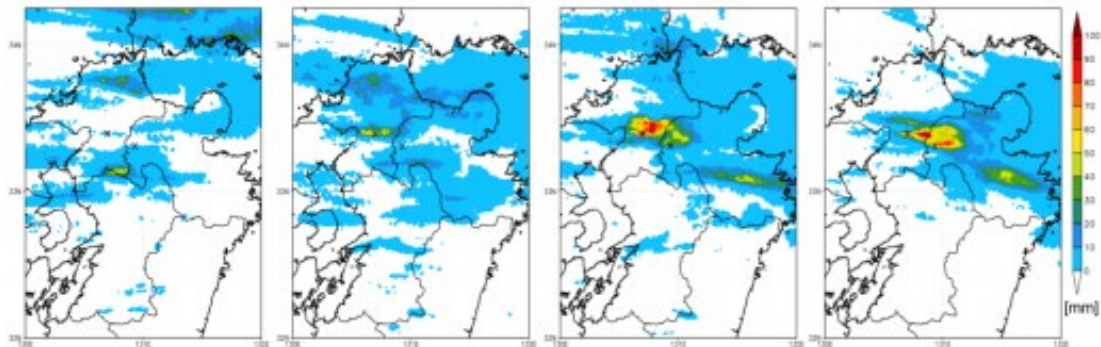


図5：ウェザーニュース解析雨量（左から順に9時、12時、15時、18時の1時間降水量（mm/h））

4. 大雨の要因

4-1. 梅雨前線の停滞

7月4日に台風3号が西日本を通過し、5日には日本海にあった梅雨前線が西日本や東日本までゆっくりと南下しました。梅雨前線は太平洋高気圧と日本海の高気圧に挟まれて、動きが遅くなりました。また、5日は九州北部の付近に梅雨前線が停滞し、前線に向かって太平洋高気圧の縁をまわる暖かく湿った気流（暖湿気流）が流れ込んでいました（図6）。



図6：7月5日15時の気圧配置

4-2. バックビルディング型線状降水帯の形成

佐賀県鳥栖市に設置された独自観測レーダー「WITHレーダー」によって、5日16時半ごろ朝倉市の西側で発生した降水セル（雨粒などの降水粒子を多く含む空気の塊で、レーダーでは塊状の強い反射強度で示される）が東へ移動しつつ、高度7,000m～10,000mまで発達する様子が観測されました。また、その西側で新たなセルが発生し、東へ移動、ということが繰り返されていました（図8）。このようにして「線状降水帯」が形成されたことが大雨の要因と考えられます。今回のように、降水セルが同じような場所で発生・移動を繰り返して形成される線状降水帯を、バックビルディング型線状降水帯と呼びます。



図7：佐賀県鳥栖市のWITHレーダーの場所と鉛直観測の位置

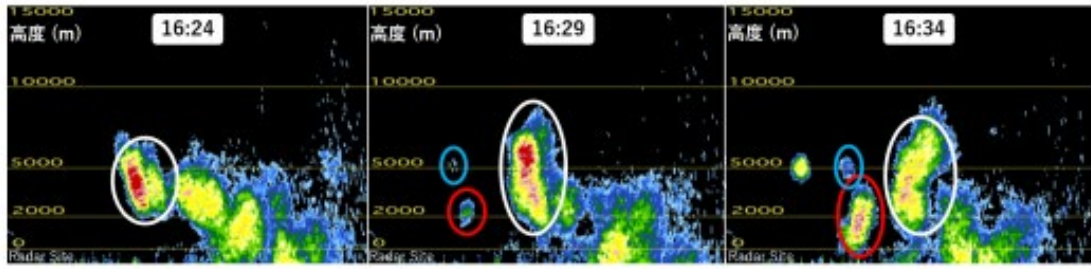


図8：佐賀県鳥栖市の「WITH レーダー」による反射強度の鉛直断面
(図7中の点線が断面の位置。白丸・赤丸・青丸は同一のセルを示す。)

バックビルディング型の線状降水帯が発生するためには、積乱雲の発生地点で風の強い収束が維持されることが必要です。当時の実況解析（図9）を見ると、大分県と熊本県や、福岡県の北東側と南西側で5度前後の気温差があり、明瞭な前線となっていました。5日午前からの散発的な雨によって前線の北東側で気温が低下し、東シナ海からの南西風がその冷気に乗る形で上昇気流が発生したと推測されます。上空は西風となっており、前線付近で発生した積乱雲はこの風により、東側へと流されました（図10）。また、博多湾付近からの北西風が東シナ海からの南西風とぶつかり、強く収束していました。この風の収束も冷気の形成と合わせて、同じ場所での連続的な積乱雲の発生に寄与していたと考えられます。

JMA Hourly Analysis 15:00JST 5th July 2017

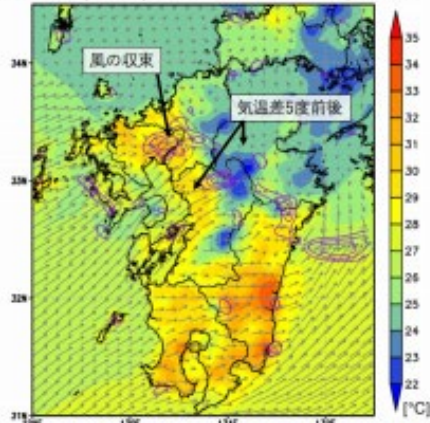


図9：気象庁毎時大気解析の地上の気温（色）、
風（矢印）、風の収束（等値線）

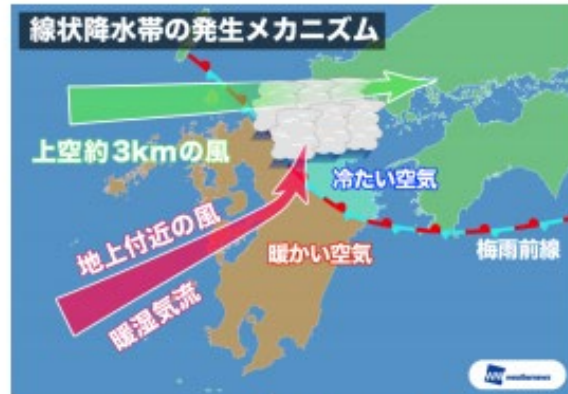


図10：線状降水帯の発生メカニズム

5. まとめ

九州北部の大雨は、24時間の降水量が朝倉で516.0mm、日田で336.0mmという観測史上1位の記録的な大雨となりました。ウェザーリポーターからは、河川の氾濫や道路の冠水などの報告が寄せられました。この大雨は、線状降水帯が約10時間にわたり停滞することで発生しました。「WITHレーダー」の解析によると、積乱雲の発生・移動が同じ場所で繰り返される、バックビルディング型の線状降水帯であったことがわかりました。梅雨前線に伴って5日午前に降り出した雨により、福岡県の北東部や大分県で気温が低下し、低温の領域が形成されました。また、福岡県と佐賀県の県境付近で博多湾からの北西風と東シナ海からの南西風が収束していました。これらがバックビルディング型の線状降水帯を維持する要因となっていたと考えられます。

なお、当社は7月6日に「九州豪雨特設サイト」を開設しました。災害の危険を少しでも早く察知し、減災・防災に繋がるような情報をいち早く発信していきます。

<http://weathernews.jp/s/news/kyushu-rain/>

2月5～8日の北陸西部の大雪について

Wx Files Vol. 45

2018年2月9日

はじめに

2018年2月5日から8日にかけて、北陸西部では福井県嶺北地方・石川県加賀地方を中心に記録的な大雪となりました。特に福井市では、7日に積雪深が147cmとなり、1981年の昭和56年豪雪以来、37年ぶりに140cmを超える積雪が観測されました。特に積雪増加が顕著だった4日から6日は2日間で96cm積雪が増加し、昭和56年豪雪の時に匹敵するものであったことがわかります。

この大雪の影響で、石川県と福井県を結ぶ国道8号では一時約1,500台の車が立ち往生しました。陸上自衛隊による除雪作業が行われ、9日未明に全ての滞留車両が解消するまでに約3日要しました。また、福井県・石川県を中心に在来線の運休が相次いだほか、石川県の小松空港では5日から8日の4日間にわたり全便が欠航となりました。長期化した交通への影響は物流にも打撃を与え、店頭の商品が品薄になったり、ガソリンスタンドの給油がストップするなど、食料や日用品の供給にも大きな影響を与えました。

1. 積雪の状況

5日から8日にかけて断続的に強い雪が降った北陸西部の積雪状況を積雪深調査やアメダスの積雪記録、ウェザーリポーターからの報告、レーダーの観測データを合わせて解析し、解析積雪マップ(図1)を作成しました。この図から、7日夜には福井県や石川県を中心に100cmを超える積雪となっていたことがわかりました。

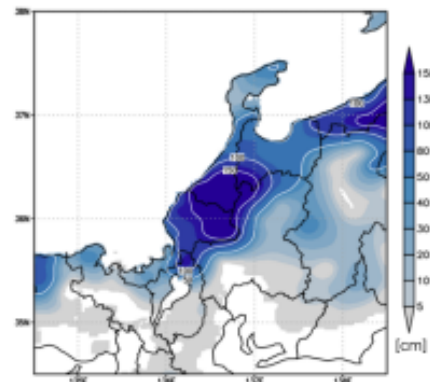


図1：解析積雪マップ
(2018年2月7日の最深積雪深)

・積雪深調査

5日から8日にかけて北陸や西日本の方に対して「積雪の深さは？」と問いかけ、計731人に定規で測っていただきました(※)。報告によると、福井県嶺北地方から石川県加賀地方にかけて、大人の膝上を超える積雪60cm以上という報告が相次ぎ、100cm以上積もったという報告もありました(図2)。

※調査詳細：5日14～22時北陸の80人、6日6～22時北陸の124人、6日9～22時西日本の288人、7日6～23時北陸の130人、8日6～22時北陸の109人が回答。



図2：2月7日6～23時の積雪深報告
(アメダスの数値は7日の最深積雪を示す。)

・アメダスの積雪記録

アメダスでは、2月7日に福井で147cm、金沢で87cm、富山で75cmの積雪を記録しました。福井で140cm以上の積雪を記録したのは、1981年2月以来37年ぶり、金沢で80cm以上の積雪を記録したのは2001年1月以来17年ぶりのことです。また、平年値（1981～2010年）と比較すると、福井では平年の3.8倍、金沢では2.9倍の積雪となり、記録的な大雪であったことがわかります。

・ウェザーリポート

2月4日から8日にかけて、当社には全国から48,184通のウェザーリポートが寄せられ、北陸3県からは5日間で1,209通の雪の報告が届きました。3県とも6日の報告数が最も多く、通常の約2倍のウェザーリポートが寄せられました（図3）。

			
<p>2/5 08:19 福井県越前市 Shino 助さん</p> <p>8:04に嶺北のほぼ全域に大雪警報が発表です。大変強い降り方で、道路の融雪装置も手一杯の様子、車はノロノロ運転です。</p>	<p>2/5 16:33 福井県福井市 マックパパさん</p> <p>車の上の雪は、今日1日で積もりました。</p>	<p>2/6 14:34 福井県福井市 Progress-Vさん</p> <p>屋根雪が凄いです。1メートル以上積もっているのでしょうか？落雪にも注意しなければです。</p>	<p>2/6 15:24 福井県勝山市 たけちゃんさん</p> <p>一晩で車の上はかなりな雪がつもりました。やっと車を掘り出し、買い出しにいきます。</p>
			
<p>2/6 06:56 富山県南砺市 4番ヒロクン?さん</p> <p>昨夜から今朝までに、30センチ新たに雪が積もり、膝下まで埋まるほどに。車庫まで、雪をかきわけるように除雪しました。会社まで通勤は、かなり時間がかかりそうな大雪ですね。</p>	<p>2/7 05:59 富山県立山町 タンクン♪さん</p> <p>雪は降ったら止んだり今は落ち着いている朝。 (※雪に埋もれるカーブミラー)</p>	<p>2/7 11:20 石川県金沢市 なっくん(★^_^)♪さん</p> <p>避けても避けても、キリがありません。</p>	<p>2/7 16:43 石川県能美市 Sumiragiさん</p> <p>屋根の雪が大変な事に…</p>

図3：北陸西部から届いたウェザーリポート

2. 大雪の推移

北陸での降雪は4日午後から強まり始め、5日から6日が降雪のピークとなり、積雪深は福井で約110cm、金沢で約80cm、富山で約60cm増加しました(図4, 5, 6)。

福井の積雪深の増加は単調ではなく、顕著な増加が3回見られました。5日午前、5日夜から6日昼過ぎ、7日未明から昼過ぎに大幅に増えていることがわかります。特に5日22時から6日14時にかけての16時間で、1時間に約4cmのペースで積雪が増え、65cmの増加となりました。



図4：アメダス福井の積雪深と降水量

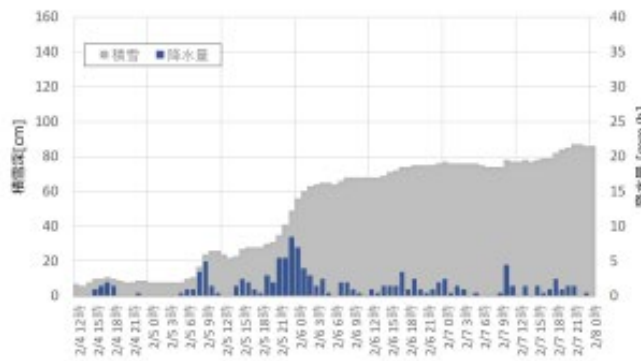


図5：アメダス金沢の積雪深と降水量



図6：アメダス富山の積雪深と降水量

3. 大雪の要因

2月5日から7日にかけて日本付近は冬型の気圧配置となっており、北陸地方には上空約1,500mで-12~-9℃の強い寒気が流れ込んでいました（図7）。また、強い降雪をもたらす日本海寒帯気団収束帯（JPCZ）が北陸付近に停滞していました。

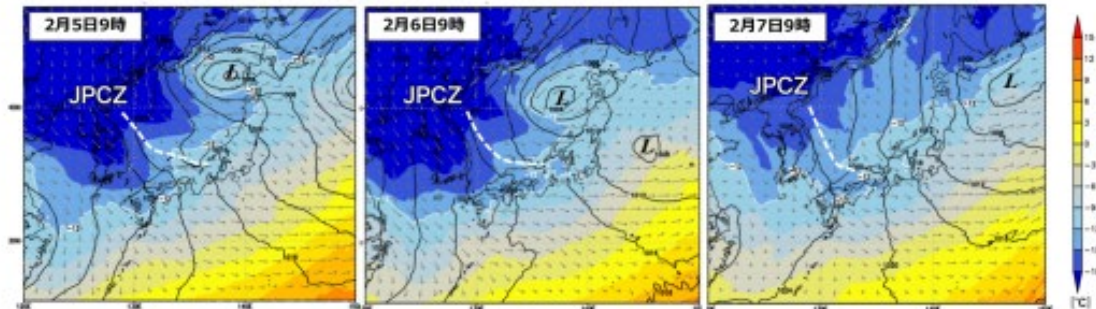


図7：天気図（気象庁MSMモデルの実況解析。黒線は海面気圧、色と矢印は上空約1,500mの気温と風、Lは低気圧の中心、白破線はJPCZ）

今回の大雪は北陸に停滞したJPCZが大きな要因となっています（図8）。JPCZは、冬型の気圧配置の時、日本付近に流れ込む季節風が長白山脈を迂回し、日本海で合流してできる収束帯です。風がぶつかることで生じる上昇気流が雪雲の発達を促すため、JPCZの付近では発達した雪雲が次々に発生し、強い雪が降ります。



図8：JPCZの形成メカニズム

今回の大雪をもたらしたJPCZは、5日から7日にかけて100km程度の範囲で少しずつ位置を変えながら北陸付近に停滞し、断続的に強い降雪をもたらしました（図9）。

福井市では、JPCZがかかった5日9～10時頃は1時間に8cm、6日9～10時頃は1時間に9cmの積雪増加がありました。一方、金沢市や富山市で積雪が増加した5日18時頃は、JPCZが能登半島方面にあり、JPCZから離れていた福井市では積雪増加はありませんでした。

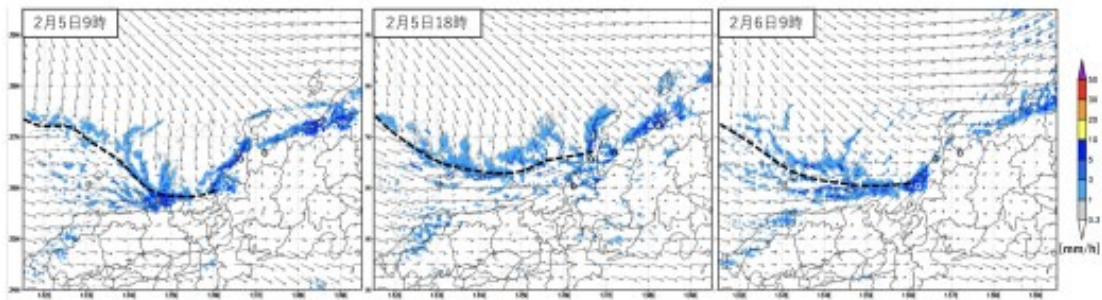


図9：降水強度（気象庁レーダー）と解析風（気象庁毎時大気解析、上空約500m）、破線はJPCZを示す

この期間、JPCZが停滞した要因としては、日本付近の気圧配置があまり変化しなかったことが考えられます。冬型の気圧配置の際に日本海で発生する低気圧は通常、1～2日で北陸に上陸して消滅するか、北日本を通過後、オホーツク海や太平洋へ抜けます。ただ今回は、日本海で発生した低気圧が、日本海北部へ南下してきた寒冷渦に取り込まれ、北海道の西側で3日から6日にかけてほぼ停滞しました（図10）。その結果、日本付近の気圧配置はほとんど変化せず、JPCZが北陸西部に停滞する状態が続きました。

福井で最深積雪119cmを記録した2011年1月や、196cmを記録した1981年1月（昭和56年豪雪）の際も、冬型気圧配置に加えて北海道付近に低気圧が位置する同様の気圧配置が見られました。

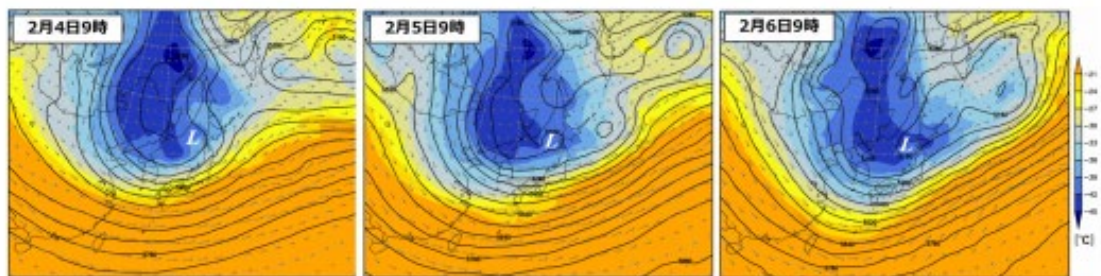


図10：上空約5,000mの気温（青い部分が寒冷渦、Lが低気圧の中心位置を示す）

昭和56年豪雪では、前年の12月27日から29日の間に、1日あたり45cm、51cmと積雪が増加しました。その後も積雪量は増え、1月には196cmとなり、3月初めまで積雪深が100cmを超える状態が続きました。今回、福井では4日から6日の間に、1日あたり42cm、54cmと積雪が増加しており、昭和56年豪雪の時の増加量に匹敵していたことがわかります（図11）。



図 11：アメダス福井の積雪深
(水色：昭和 56 年豪雪のシーズン、オレンジ色：今シーズン)

4. まとめ

2月5日から8日にかけて北陸西部で記録的大雪となり、福井市の最深積雪深は37年ぶりに140cmを超え、147cmを記録しました。福井市の急激な積雪増加は4日から6日の2日間で96cmとなり、1981年の昭和56年豪雪の時に匹敵するものであったことがわかります。当社に寄せられたウェザーレポートの件数も6日をピークに、雪かきが困難なほどの積雪の様子が多量に寄せられました。また、積雪深調査では、福井県嶺北地方から石川県加賀地方にかけて、大人の膝上を超える60cm以上の積雪報告が相次ぎました。

今回の大雪は強い降雪をもたらすJPCZが3日間ほど北陸西部に停滞し、少しずつ位置を変えながら北陸西部各地で複数回、強い雪を降らせたことが原因で発生しました。JPCZの停滞は、日本海北部の低気圧が動きの遅い上空の寒冷渦と結びついて停滞し、本州付近の気圧配置が変化しない状態が続いたためと考えられます。

雪は一旦ピークを過ぎましたが、10日は北陸西部の広範囲で雨が降るため、路面状況の悪化、冠水、落雪、雪崩などのリスクが高まります。11日以降は再び冬型の気圧配置になり、13日頃にかけて大雪の恐れがあります。融雪による二次災害やその後の大雪に引き続き警戒が必要です。

2013年3月2日道東地方の暴風雪に関して

Wx Files Vol.16

2013年3月8日

2013年3月2日、北海道を発達した低気圧が通過し、道内では暴風雪となった。また、積雪した雪を巻き上げることで起こる地吹雪も発生し、昼間でも数メートル前が見えない状況が長時間にわたり続いた。特にオホーツク海側の地域での影響は大きく、道内では合わせて9名の方が亡くなるという大惨事となった。

吹雪の程度は通常の気象観測だけでは把握が難しい。このため、現地のサポーターからのレポートを元に当時の状況を分析した。

■サポーターからのレポートによる吹雪の状況



図1. サポーターからの10分天気レポート
(左: 12時30分～13時30分、右: 14時00分～15時00分の報告)

3月2日に北海道のサポーターから届いたレポートによると、13時30分時点でオホーツク海側の網走付近では、まだ「影ははっきり」という報告があり、晴れ間が出ていた(図1左)。しかし、15時には「ブワァー」という吹雪のレポートが急増し、天気が急変したことが分かる(図1右)。



図2. 吹雪の強さに関するソラミッション(*)レポート
(2日15～18時)

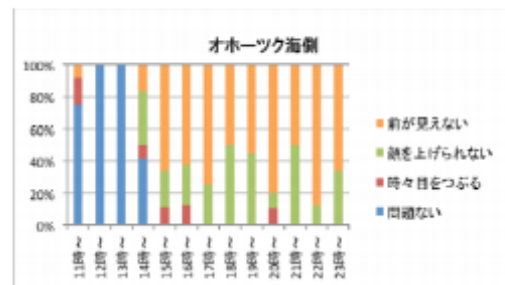


図3. レポートの時間推移(オホーツク海側)

吹雪の強さに関しても詳細なレポートが多く届いた。13時までは「問題ない」がほとんどだったが、オホーツク海側で吹雪レポートが増えた15時以降には、「前が見えない」、「顔を上げられない」という強い吹雪のレポートが急増した。13時から15時の間の約2時間で状況が一変したことが分かる。

※ソラミッション: 当社スマートフォンアプリ「ウェザーニューススタック」で天気や季節の変化に関するテーマを日々投げ、そのテーマに関する現地の状況を報告してもらうというサポーター参加の風。ウェザーリポーターとしての顔を磨く場。

■レポートの写真・コメントで見る天気の変化

2日の朝は穏やかに晴れた空の報告であったが、11時半頃以降は猛吹雪を伝えるレポートが多く届いた。



9:44 北見市常呂町 N44さん
気持ちのいい穏やかな天気ですこれから冬祭り本番が有ると思えません



10:32 網走郡美幌町 ユースケさん
気持ちのいい快晴です!!!
これから吹雪くなんて信じられない。



11:09 斜里郡小清水町 あきとさん
今は晴れて穏やかですが昼から北風が猛烈に吹きそうです!



11:38 北見市常呂町 N44さん
郊外に出るとホワイトアウト



12:18 紋別郡 ブルーとらくたーさん
雪の量も増えてホワイトアウト状態



14:06 紋別市 よねさん
吹雪で何も見えない



15:21 網走市 どかん…さん
吹雪出てきた…



16:07 枝幸郡 しろいるかさん
終わりの見えない暴風雪



22:22 根室郡 ラッキーさん
車で立ち往生4時間経過

■被害の大きかった地域での現地調査

今回は道東のオホーツク海側で遭難された方が多く、被害が大きくなった。現地の詳細な状況を把握するために、3月5日～6日に網走市と湧別町で現地調査を行った。



図4. 現地調査地点

<網走市での被害現場>

1) 地理的特徴

網走市での遭難現場は、網走市中心部から西に約10km離れた郊外にあった。北側に能取湖があり、冬期、能取湖は表面が凍り、平原の様な状況となっている。また、周りに木々は多少あるものの平坦な土地となっており、オホーツク海からの強い北風が直接吹き込みやすい地形であった。また、今年は雪の量が平年より多く、道路脇の雪の量も多い状況であった。人通りは少ない場所であった。

2) 聞き取り調査

付近の住民の方によると、当時の状況は以下の様であった。

- ・ 午後から大荒れで目先が見えなくなる状況まで、あつという間だった。
- ・ 普段吹雪になっても、吹き溜まりで道を全て遮ることはないが、道の両脇に寄せてある雪の高さまで、道の全てが雪で埋まった。
- ・ これまでビニルハウスが破れたことはない。その点ではこれまでで1番の大荒れだった。
- ・ 家も風で揺れた。
- ・ ある程度交通量の多い道であれば、除雪や排雪もある程度は行っているが、脇道までは厳しい。
- ・ 市街地の建物がある所と、郊外の民家が少ない所では、吹雪の強度レベル（地吹雪や風）が違う。郊外の方が風を遮るものが何もない所は、さらに大荒れとなる。



図5. 調査を行った地点（上段）と付近（二見ヶ岡神社付近から東方向）の現地写真（5日11時頃撮影）

<湧別町での被害現場>

1) 地理的特徴

湧別町の被害現場はオホーツク海から約1kmの平坦な土地で、道沿いには吹雪除けも多く見られるほど、辺りは遮るものは少なく、吹雪やすい。網走の被害現場と同様に郊外であり、民家同士の距離が離れており、人通りは少ない。

2) 聞き取り調査

付近の住民の方によると、当時の状況は以下の様であった。

- ・ ホワイトアウトにより視界はほぼ無かった。
- ・ とても外に出られる状況ではない。
- ・ 日が落ちた後は、明かりは十字路毎の明かりと、各民家の外灯のみだが、何とか明かりは見えたかもしれない。
- ・ 吹き溜まりなどは風が巻いて、いつもと違う雪のたまり方があった。



図6. 現地調査を行った地点（上段）と付近（ボン沼付近から東方向）の現地写真（6日14時頃撮影）

■サポーターリポートの解析と現地調査からわかったこと

被害現場付近では、午後状況が急変し、猛吹雪となった。朝には暴風雪警報が発表されていたものの、午前中は天気が良く、午後急変したことが被害を大きくした要因となっている可能性がある。午前中の天気があまりにも良く穏やかな天気だったため、また週末であったこともあり、外出していた方も少なくなかったようだ。ちょうど外出先から戻る途中に、天気の急変によって、動けなくなったり、帰宅できなくなったというケースが多く見られた。もし朝から吹雪になっていれば、外出自体を控えた方も多かったのかもしれない。

また、吹雪自体の強さも、現地の方から見ても、「経験がないくらいの猛吹雪だった」という声もあった。午後から吹雪になると知っていた方も多かったようだが、予想以上の吹雪になったと思われる。今回の吹雪は昼間の明るい時間帯に始まっているが、明るい時に猛吹雪となると、太陽光の乱反射により、一面真っ白（ホワイトアウト）となってしまう、自分がどこにいるのかさえ判断が難しくなってしまう。今回は突然のホワイトアウトとなり、大きな影響となったと考えられる。

さらに、郊外の平坦で風が吹き抜けやすく、民家の少ない場所で猛吹雪の被害を受けやすいということも分かった。そういった場所では市街地より吹雪が強まりやすく、吹き溜まりが大きくなりやすい。また、助けを求め民家が近くにないことも多い。

以下からは、当日の気象状況の詳細な解説を行う。

■総観場の分析

3月1日に日本海上に位置していた低気圧は、大陸から東進する寒冷渦に取り込まれながら猛発達し、3日朝にかけてゆっくりとしたスピードで北海道を通過した。低気圧の中心気圧は1日15時時点の994 hPaから24時間後の2日15時で974 hPaと大きく低下し、36時間後の3日3時では中心気圧は968hPaにまで低下した。低気圧の発達に伴って雪雲が活発化し、さらに低気圧の中心から周囲にかけての気圧傾度（等圧線の密集具合）が非常に大きくなったところで風が強まった。北海道地方では2日日中～3日朝をピークとして暴風雪に見舞われた。

今回の低気圧では、中心付近の天候と風速の分布に特徴があった。

まず風速の分布については、実況解析の気圧傾度に注目すると、図7のように気圧傾度は中心付近で緩く、中心から100数十kmほど外側で特に気圧傾度が大きい領域が現われていた。そのため、風は中心付近で比較的弱く、中心から離れたところで急に暴風レベルまで強まる傾向にあった。道東付近での時間経過を追うと、2日9時時点では、気圧傾度の緩い領域に入っていたが、12時になると西から急激に気圧傾度が大きくなり、15時以降に低気圧の中心の西側の特に気圧傾度の大きい(風が特に強い)領域に入った。

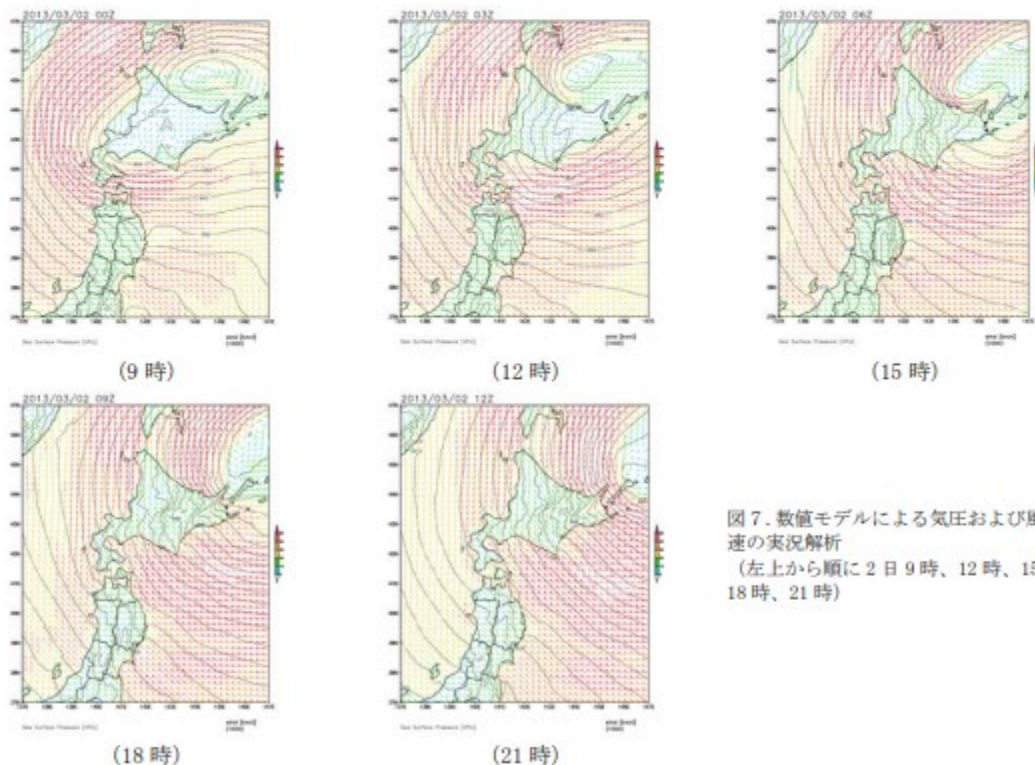


図7. 数値モデルによる気圧および風向風速の実況解析
(左上から順に2日9時、12時、15時、18時、21時)

次に、天候の分布、変化について、衛星画像(図8)から見ると、低気圧中心から南側は雲の少ない領域が広がり、その北から西へ回り込む形で活発な雪雲（輝度の高い領域）が環状に形成され、全体として東進していた。強い雪雲の領域がまとまりを見せており、北海道では雲の少ない状態から、急に雪に変わるといった天候の急変が起きやすい状況であったといえる。

特にオホーツク海側を中心に見ると、15時から18時にかけて北側から発達した雲が流れ込んでおり、天候の急変を示している。

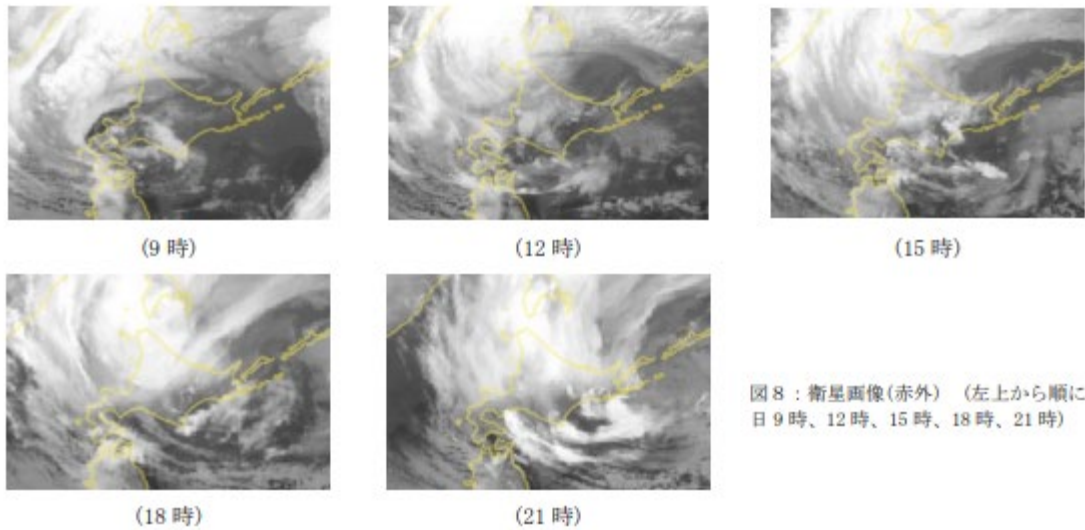


図8：衛星画像(赤外) (左上から順に2日9時、12時、15時、18時、21時)

以上より、オホーツク海側では前述の風の強まりのタイミングと合わせ、15時ごろを境に降雪も急に激しくなったことがわかる。

■地上観測値からの分析

天候急変の様子は、地上の観測値でも確認された。網走における地上気象観測によると、風は朝9時頃には平均風速5m/s前後であったのが11時半頃から次第に強まり始め、15時から16時の間でさらに強さを増し、16時以降になると平均風速で15m/s以上、最大瞬間風速で25m/s以上を観測するようになった(図9)。気圧傾度が中心付近で緩く、周囲で急に大きくなる分布を持つ低気圧の移動に伴う風速の変化の特徴が現われている。

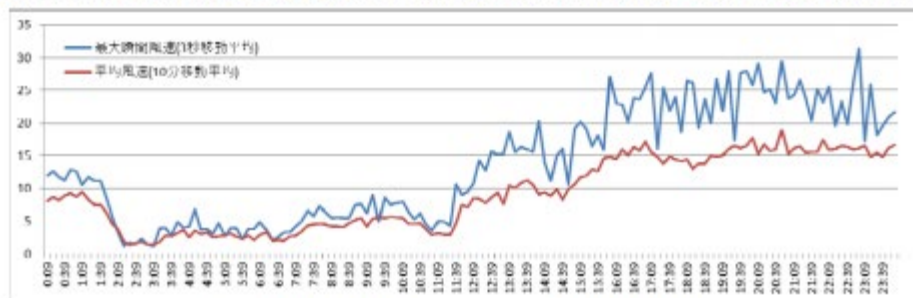


図9 網走における風速の変化。(気象庁観測値より)

地点		1位	2位	3位	4位	5位
湧別	日最大風速 (1978年以降)	20.1 (2013/3/2)	17.5 (2010/3/21)	16 (2007/3/5)	16 (2004/3/27)	15.0 (2009/3/6)
	日最大瞬間風速 (1953年以降)	35.4 (2004/3/27)	32.8 (1965/3/11)	32.4 (1971/3/2)	31.9 (1990/3/13)	31.4 (2013/3/2)
中標津	日最大風速 (1978年以降)	14 (1995/3/17)	12 (2004/3/27)	11.9 (2013/3/2)	11.4 (2010/3/13)	11.3 (2013/3/3)
	日最大瞬間風速 (1891年以降)	24.8 (1948/3/8)	23.3 (1948/3/7)	22.7 (1908/3/9)	22.3 (1944/3/26)	21.1 (1911/3/20)

表1. 湧別、中標津、網走の過去の日最大風速 (m/s)、網走の日最大瞬間風速 (m/s) の上位5位の値と記録日
*気象庁観測値より。

人的被害のあった湧別、中標津、網走の3月の観測統計(表1)を見ると、日最大風速が湧別(20.1m/s)で観測史上1位、中標津(11.9m/s)で観測史上3位、網走では日最大瞬間風速(31.4m/s)が観測史上5位であった。3月としては記録的な強風であったことがわかる。

今回の暴風雪においては、上記のような観測データに加え、サポーターからのレポートや現地での調査によって、天候の急変の様子や地理的な特徴を詳細に把握することができた。今後、このような様々な情報を最大限活用し、吹雪という現象の理解をより深めることにより、今回の様な被害を最小限にできるコンテンツ、サービスを提供できるよう努めていきたいと考える。

以上

近年の異常気象による災害の傾向と対策として、以下2つの対策を述べる。

(1) 平成29年7月九州北部豪雨の対策

国土交通省水管理・国土保全局が中心となり、「九州北部緊急治水対策プロジェクト」として緊急的な治水対策が進められた。これは堤防改修などのハード対策が主ではあるが、危機管理型水位計という新しいタイプの廉価な水位計の緊急整備により、河川水位変化のリスクを早く捉えようとするものである。

III 施策の紹介
河川事業概要2018

平成 29 年 7 月九州北部豪雨等をふまえた緊急対策

九州北部緊急治水対策プロジェクト
九州北部豪雨で甚大な被害を受けた河川においてハード・ソフト一体となった対策を実施

平成 29 年 7 月九州北部豪雨で、甚大な被害を受けた河川において、「九州北部緊急治水対策プロジェクト」として、再度災害の防止・軽減を目的に、全体事業費 1,670 億円により、ソフト対策と併せて概ね 5 年間で緊急的・集中的に治水機能を強化する改良復旧工事等を実施。


九州北部緊急治水対策プロジェクトの概要

全体事業費	：1,670 億円
事業期間	：概ね 5 年間（平成 34 年度目途）
実施河川	：〔国管理河川〕 筑後川、花月川、彦山川、山国川 ：〔県理河川〕 桂川、北川、白木谷川、赤谷川、大肥川、小野川など
事業内容	：堤防整備、河道掘削、護岸整備、砂防埋堤整備など
実施事業	：河川災害復旧等関連緊急事業、災害復旧事業（一定災）、特定緊急砂防事業など

【主なポイント】

河川・砂防・地域が連携した復旧


- 一定程度の降雨に対し、山地部では、土砂・流木の流出を防止する砂防埋堤等の整備、河川上流では、砂・流木を補足する貯留施設の整備、洪水・土砂を下流まで円滑に流す河道の改修、河道形状の工夫を実施し、土砂・流木を伴う洪水氾濫を防止。
- 今回の災害と同規模以上の降雨に対し、地域と一体となって、さらに安全性を高めるための検討を実施。



赤谷川における土砂・流木による埋塞状況

様々な事業・制度を活用した迅速な復旧


- 大量の土砂等に埋塞した河川や公共土木施設について掘り起こすことなく「全損」として扱うことで、災害復旧への着手を大幅に迅速化。また、著しく埋塞した河川で、災害復旧事業（国庫負担率2/3以上）により実施する改良的な復旧事業（一定災）を活用し、査定設計書の作成などの事務手続き及び地方負担を軽減。
- 被害が特に大きかった赤谷川流域において、暫定的な対策に加えて本格的な改良復旧工事についても、権限代行により県に代わって国が実施するなど、被災地の復旧を迅速化。



大量の土砂で埋没した赤谷川

危機管理型水位計の設置とリスク情報の活用

九州北部豪雨では、洪水時に河川の状態をリアルタイムに把握できなかったことに加え、事前の想定とは異なる現象によって被害が発生。このため、洪水に特化した低コストの水位計の設置を推進するとともに、浸水実績や地形情報等を活用したまちづくりの検討を支援。



水位計の設置箇所のイメージ

九州北部豪雨を踏まえた緊急対策（河川事業概覧2018）

(2) 平成30年2月福井豪雪への対策

国土交通省は平成29～30年度にかけて「冬期道路交通確保対策検討委員会」を開催し検討を重ね、「大雪時の道路交通の確保に向けた取り組み」を平成30年度雪氷期より開始した。これは、除雪体制の強化や集中除雪、大雪時の需要抑制の呼びかけ等の取り組みを行うもので、従来であれば通行止めとなる状況においてタイヤチェーン装着車のみ通行を可能としたものである。この対象区間は全国13区間(うち直轄国道6区間、高速道路7区間)が制定された。この区間は局地的な短時間強雪によりスタックや滞留車両が発生しやすい山間部路線となっている。



平成30年12月10日

道路局 環境安全・防災課

国道・技術課

高速道路課

大雪時の道路交通の確保に向けた取り組みについて (チェーン規制の検討状況)

国土交通省では、冬期道路交通確保対策検討委員会でとりまとめられた、「大雪時の道路交通確保対策の提言 中間とりまとめ」に基づき、「道路ネットワーク機能への影響を最小化」するため、除雪体制の強化や集中除雪、大雪時の需要抑制の呼びかけ等の取り組みを進めているところです。

○ このうち、チェーン規制については、

- ・ 時期：大雪特別警報や大雪に対する緊急発表が行われるような異例の降雪時※

※ 平成29年度は、大雪特別警報の発令はなく、大雪に対する緊急発表は3回。

- ・ 場所：勾配の大きい峠部でこれまでに大規模な立ち往生などが発生した区間

を対象として、従来であれば通行止めとなる状況においてタイヤチェーン装着車のみ通行を可能とするものですが、現時点で、国土交通省と警察において調整しているチェーン規制区間は別紙のとおりです。お知らせします。

⇒ 全国13区間(うち直轄国道6区間、高速道路7区間)

○ 具体的な開始時期については、改めてお知らせいたします。

○ また、大雪が予想される2～3日前より通行止め実施の可能性がある旨について事前広報を行い、不要不急の外出を控えることや広域迂回、並びに物流車両の運行計画の見直しなどについて、地域住民や道路利用者へ周知してまいります。

福井豪雪を受けた対策 (国土交通省HPより)

平成30年度チェーン規制(高速道路) 現時点での調整箇所について

都道府県	路線番号	道路名	区間	延長(km)
新潟県 長野県	E18	上信越	信濃町IC～新井PA	25
山梨県	E20	中央道	須玉IC～長坂IC	9
長野県	E19	中央道	飯田山本IC～園原IC	10
石川県 福井県	E8	北陸道	丸岡IC～加賀IC	18
福井県 滋賀県	E8	北陸道	木之本IC～今庄IC	45
岡山県 鳥取県	E73	米子道	湯原IC～江府IC	34
広島県 島根県	E74	浜田道	大朝IC～旭IC	27

別紙

平成30年度チェーン規制(直轄国道) 現時点での調整箇所について

都道府県	路線番号	箇所名	区間	延長(km)
山形県	112	月山道路	西川町志津～鶴岡市上名川	27
山梨県 静岡県	138	山中湖・須走	山梨県山中湖村平野～静岡県小山町須走字御登口	9
新潟県	7	大須戸～上大鳥	村上市大須戸～村上市上大鳥	16
福井県	8	石川県境～坂井市	あわら市熊坂～あわら市笹岡	4
広島県 島根県	54	赤名峠	広島県三次市布野町上布野～島根県飯南町上赤名	12
愛媛県	56	鳥坂峠	西予市宇和町～大洲市松尾	7

大雪時のチェーン装着必須区間 (国土交通省HPより)

これら対策においては、ハードやソフトの整備双方が行われているが、気象予測や気象観測における有効な対策はなかなか打てていないのが現状と考えられる。九州北部豪雨対策における危機管理型水位計は、あくまで局地的大雨発生後の河川水位変化をいち早く検知するものであり、局地的大雨の事前検知が目的ではない。また、福井豪雪における大雪時のチェーン装着必須区間はいずれも山間部に位置し、地表付近は公的な気象レーダー観測網におけるブラインドエリアとなりやすい区間である。このため、このような災害対策において、災害発生前の異常気象を早期検知するための気象レーダーのニーズが、より高まる傾向にあるといえる。

参考資料3 9. 4GHz帯実験試験局気象レーダーの実証実験結果

民間気象事業者では、高速道路、鉄道、航空会社などの顧客から、局地的大雨や突風に備えるための、より一層の実況監視強化と精度の高い危険回避情報の提供を求められていたため、実験試験局として気象レーダーを導入することとなり、試験観測による気象現象の観測及び、前兆現象の早期検知と情報提供が効果的に機能するかどうか、を検証しており、以下のような実証実験の結果及び各交通機関の要望が確認されている。

○実証実験を行った結果、交通機関ではこれまで現象発生後から管理作業などの対応を始めていたが、気象レーダーの導入により現象発生前から作業を開始できることがわかり、気象レーダーの有効性が確認できた。

○交通機関からは運行管理や作業の効率向上のためにも、引き続き観測を求める声があり、実用局化が期待されている。

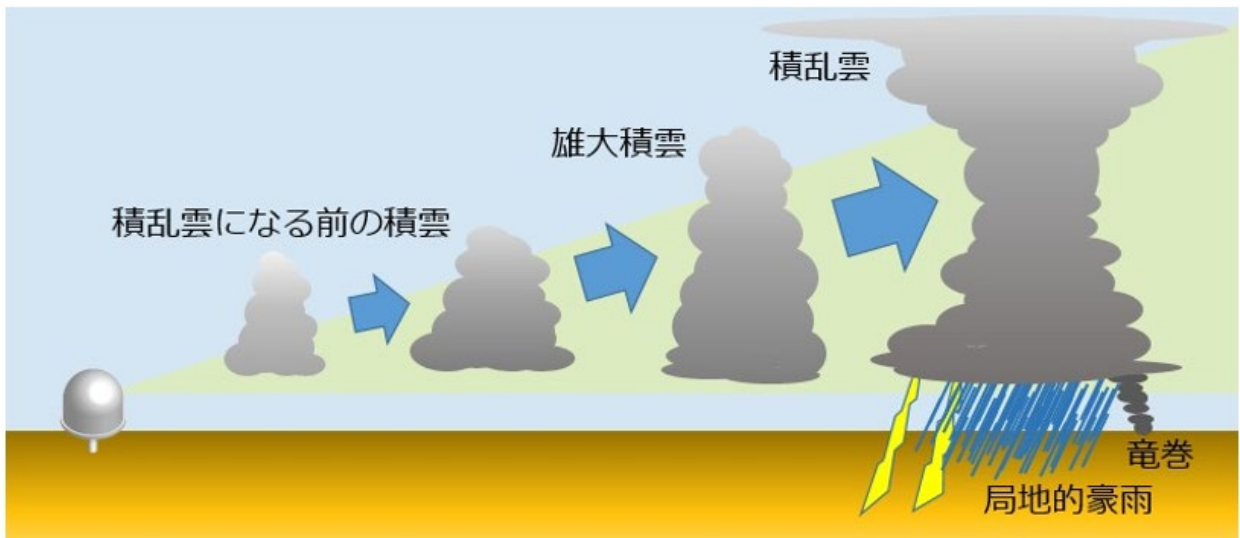
○こうした現象をもたらす積乱雲を、すでに公的主体で運用されている広域観測の気象レーダーと合わせて、さらに高い時間頻度での観測や鉛直方向の観測といった現在の実験試験局の気象レーダーの特徴を用いることで、現象の発生初期から観測できたこの手法は有効である。



9. 4GHz帯 実験試験局配置例 (民間気象事業者)



2. 1. 2. 1-2 民間気象事業者気象レーダー外観



民間気象事業者気象レーダー観測イメージ

交通機関ごとの実験試験局のレーダー導入前と後の結果

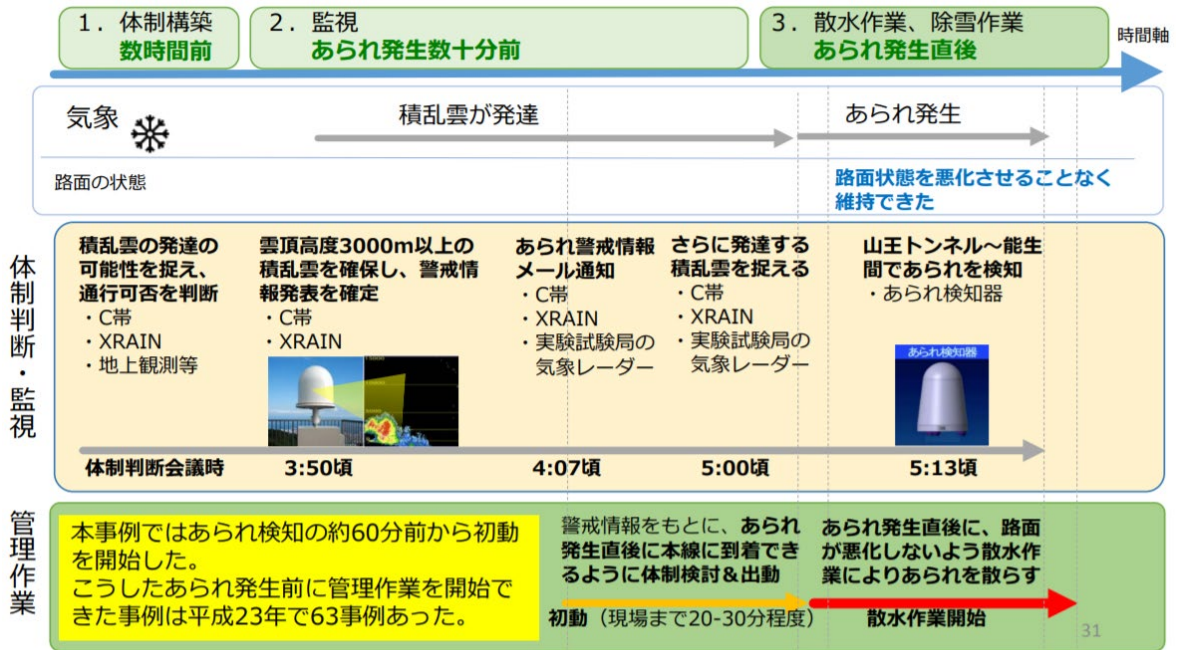
交通機関	エリア 観測対象	レーダー導入前の課題	レーダー導入後の結果
高速道路	北陸の あられ	道路管理事業者は、あられによる路面状態の悪化を解消するためのタイムリーな雪氷作業を行うのが難しく、時間を要することもあった。	道路管理事業者は、あられの事前情報の提供を受けて、雪氷作業開始までの所要時間の短縮が認められて、路面状態の維持に気象レーダーが有効であることがわかった。
航空 (ドクターヘリ)	北海道の 降雪	運航事業者は、ドクターヘリの安全な運航を判断するために、できる限りの気象情報を入手しているが、峠など山間部では入手しづらい箇所もある。	運航事業者は、この試験観測を活用することで、気象の悪化や回復のタイミングを見極めることができ、安全な運航の判断材料の一つとして有効性が確認された。

◆高速道路管理における気象レーダー導入前と導入後



X帯気象レーダーの現在の実証実験①（高速道路）

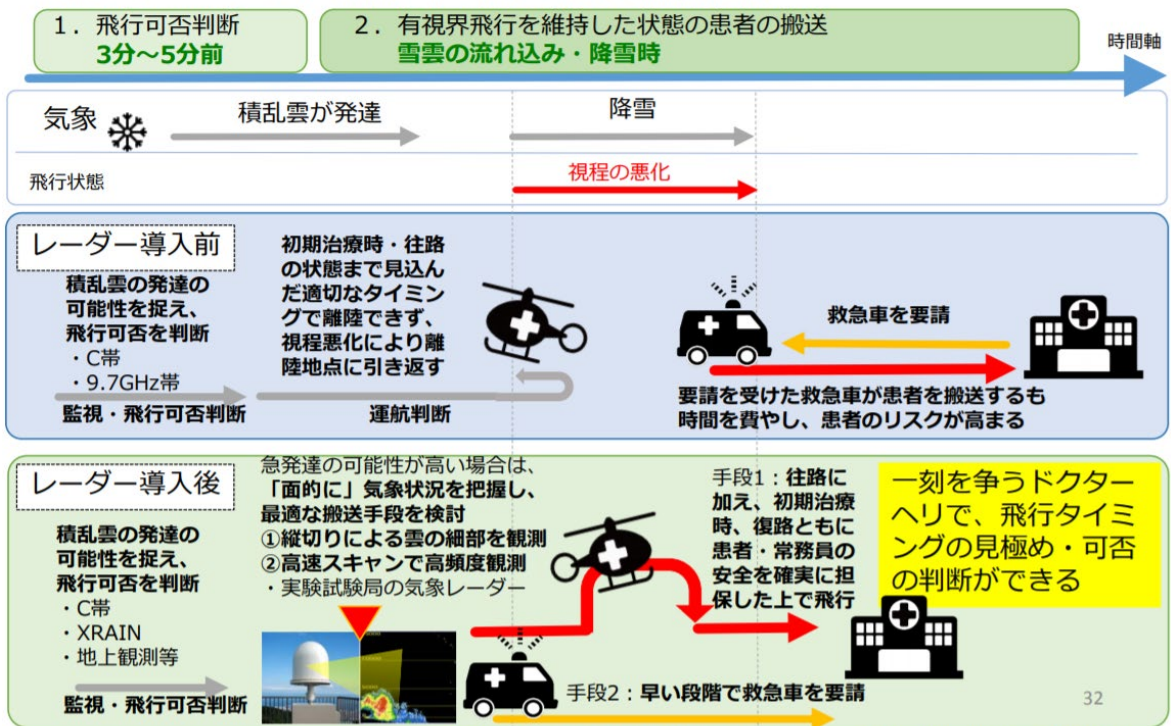
◆ あられ発生前に管理作業ができた事例（平成23年11月21日）



(出典 参考論文「独自レーダーを用いたあられ捕捉と作業支援の取り組み」 平成25年)

X帯気象レーダーの現在の実証実験②（高速道路）

◆ ドクターヘリの運航管理における気象情報活用



(参考論文「安全運航のための航空気象観測インフラと気象予測について」 平成29年)

X帯気象レーダーの現在の実証実験③（航空）

◆鉄道事業者は、強風や大雨に対する速度規制等の運行規制を行うために、風速計や雨量計を線路に沿って設置しているが、あくまで「点での観測」であり、過剰な安全基準で判断しがち。結果として経済性や利用者に対する利便性を損なっている。



鉄道事業者の声（鉄道運行管理担当者）

「強風の吹き始めや、運行規制解除後の再規制となるかどうかを把握することで、最適な運行を行い、列車の駅間停止を防ぎたい。これは同時に鉄道利用者への適切な情報提供ができることになり、お客様の満足度を向上していきたい。」

鉄道事業者の声（鉄道運行管理担当者）

「従来の風向風速計による観測では現況把握が局所的なため、運行規制は安全を配慮し、現実より厳しい判断基準となる可能性が高い。路線周辺の広域の面的分布で気象実況を把握することにより規制実施の最適化を図りたい。」

将来のX帯気象レーダーの導入を望む声（鉄道）

◆高速道路事業者にとっては、積雪深計や気温計といった「点での観測」だけでは高速道路全体を管理することが難しく、さらに現在の観測で捉えきれない山間部での観測網の充実と合わせた「面での観測」があって初めて、適切な管理業務が可能になる



高速道路事業者の声（道路維持管理業務担当）

「高速道路のうちトンネルを除くところでは、雨量計だけでは測りきれない雨やあられが事前にわかれば、対応策をとることができる。そうすれば交通障害を減らすことが期待できる。また、山間部を走る区間が多いため、既存レーダーの死角になっているところでは、どのような気象現象が起きているのか、測ることができると状況がわかるので、対応策をとることができる。」

将来のX帯気象レーダーの導入を望む声（道路）

- ◆航空事業者、特にドクターヘリの運航者にとっては、離発着設備のない小学校の校庭のような場所に緊急に離着陸するため、地上観測設備を前もって準備することが難しく、気象レーダーのようなリモートセンシングによる観測網が整っていると安全運航に大いに役立つ



ドクターヘリの運航事業者の声

「VFR、有視界飛行方式で飛ぶ航空機にとって、急な天候の変化による視程悪化、雲底の低下は運航上非常にクリティカルとなる。特にドクターヘリや山岳救助で飛行するヘリは都市部だけでなく、山間部を飛ぶケースも多く、既存レーダーの死角となるエリアの運航可否は極めて難しい判断を迫られることがある。」

離陸から飛行中、着陸まで全ての段階において、急な雨雲の発達や地上-上空の風向風速の変化、ダウンバースト等のいち早いシビア現象の検知ができれば、運航の安全を確保する上で非常に役立つ。」

将来のX帯気象レーダーの導入を望む声（航空）

- ◆海運会社にとっては、地上風速計を作業場所に設置することが多く、離着岸作業やクレーン作業といった突風の影響を強く受ける作業に対して、現在の観測手法では前もって事故回避することが困難



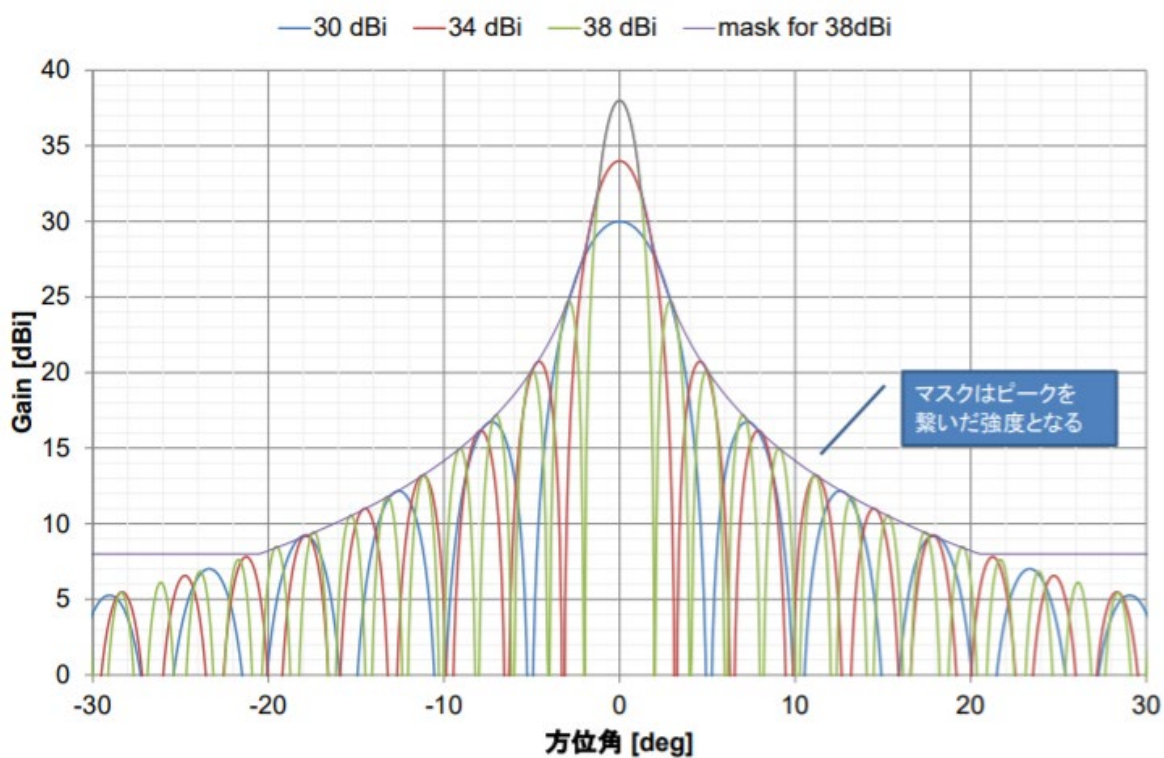
海運会社の声（船舶運航管理担当者）

「船舶にとっては、離着岸時及び港湾作業中の突風がリスクになる。このレーダーで、突風の前兆をとらえてくれるなら、船が流れる前に対策をとることができると考えている。高頻度に観測ができると聞いたので、そこは期待したい。」

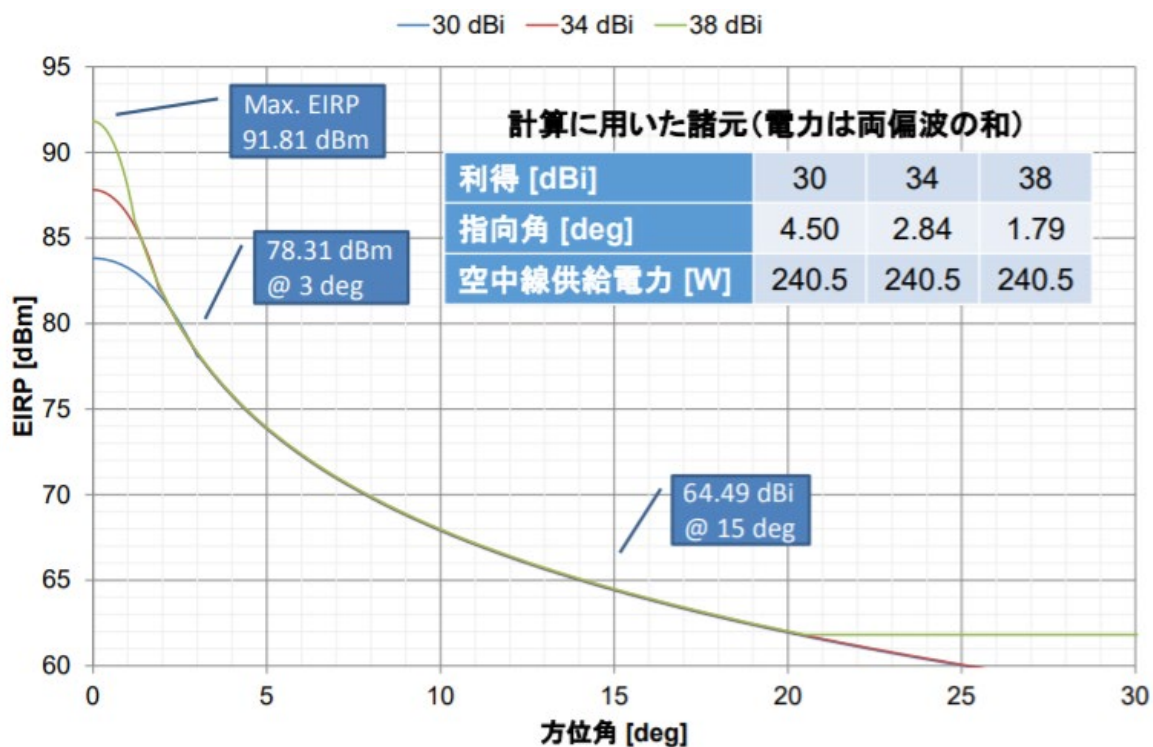
将来のX帯気象レーダーの導入を望む声（海運）

参考資料 4 観測性能の定義

空中線の指向性モデルの定義に必要なものとして、ITU-R勧告M.1851-1のsincモデルは以下のとおりである。



Gainと方位角との関係



EIRPと方位角との関係

参考資料 5 混信計算に必要な諸元

与干渉側と被干渉側に必要なレーダー諸元について述べる。

混信計算に必要な諸元（与干渉側）

与干渉側	備考
設置場所	緯度・経度・標高
送信周波数	f_0
送信電力	EIRPも可
送信給電系損失	送信機—空中線間
空中線利得	メイン及びサイド
送信スペクトラム	中心から±80MHz 0.5MHz刻み以下
パルス変調方式	PON又はQON（QONの場合は変調周波数幅も示す）

混信計算に必要な諸元（被干渉側）

被干渉側	備考
設置場所	緯度・経度・標高
受信周波数	f_1
空中線利得（送信）	メイン及びサイド
受信給電損失	空中線—受信機入力間
受信フィルタ特性	中心から±80MHz 0.5MHz刻み以下
最小受信感度	S_{min}
混信許容レベル	決められた I/N 以下
混信除去機能及びその条件	混信パルスの幅、送信繰り返し、電力等

参考資料6 レーダー諸元モデル

高性能型レーダーと汎用型レーダーの諸元をモデル化して示す。

レーダー諸元のモデル化

項目	高性能型レーダー	汎用型レーダー
空中線電力(H/V合計値)	10 kW	400 W
送信給電損失	2 dB	2 dB
空中線利得(送信)	42 dBi	38 dBi
サイドローブ減衰量(*)	-30 dB	-27 dB
送信周波数離隔減衰量 5MHz 以上	50 dB	50 dB
送信周波数離隔減衰量 10MHz 以上	60 dB	60 dB
受信フィルタ周波数特性 5MHz離隔 以上	50 dB	50 dB
受信フィルタ周波数特性 10MHz離隔 以上	60 dB	60 dB
受信給電損失	2 dB	2 dB
最小受信電力	-110 dBm	-110 dBm
混信許容受信電力 I/N	-10 dB	0 dB

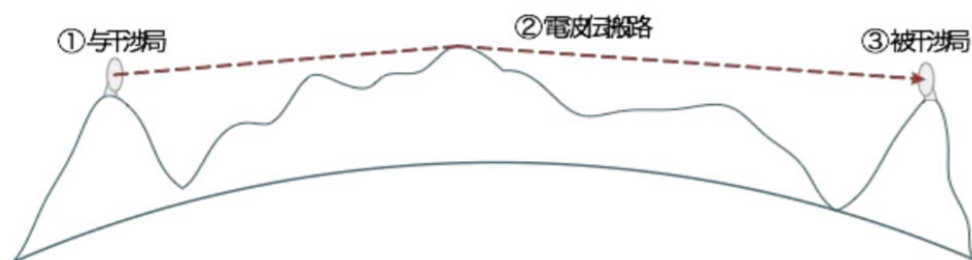
(*) 主指示方向から15° 以上

参考資料7 レーダー間の混信計算モデル

レーダー間の混信の影響を見積もる必要がある。よって、定量的に妨害波強度を計算するためのモデルを考える。

(1) 混信概念図

混信は、混信を与える①与干渉局から電波が発射され、②電波伝搬路を通り、混信を被る③被干渉局に電波が伝わることで、発生する。



混信概念図

(2) 妨害波強度計算

妨害波強度の計算をするためのパラメータは、与干渉局、電波伝送路、被干渉局それぞれに対して、次のとおり定めることができる。

混信計算のための各パラメータ

与干渉情報		
空中線	空中線利得	G_t
	給電損失	L_t
送信機	送信電力	P_t
	送信周波数	f_t
	送信電力スペクトラム	$T(f)$
位置情報	緯度・経度	
	標高	
	空中線高	
電波伝搬損失情報		
自由空間伝搬損失	両局間離隔距離	r
	送信周波数	f_t
電波の屈折	大気による屈折を考慮した 等価地球半径係数	4/3
リッジ回折損失	山岳等の電波伝搬経路における障害物 (地球高度マップ情報)	L_p
大気減衰	電波の大気による減衰	K_r
被干渉局情報		
空中線	空中線利得	G_r
	給電損失	L_r
受信機	受信周波数	f_r
	最小受信感度	S_{min}
	受信フィルタ特性	$R(f)$
位置情報	緯度・経度	
	標高	
	空中線高	

これらのパラメータを用い、被干渉局に置ける受信機入力端での混信電力強度 (P_i) は以下の式で計算される。

$$P_i = EIRP - L_p + G_r - L_r - A(\Delta f) \quad [(dBm)]$$

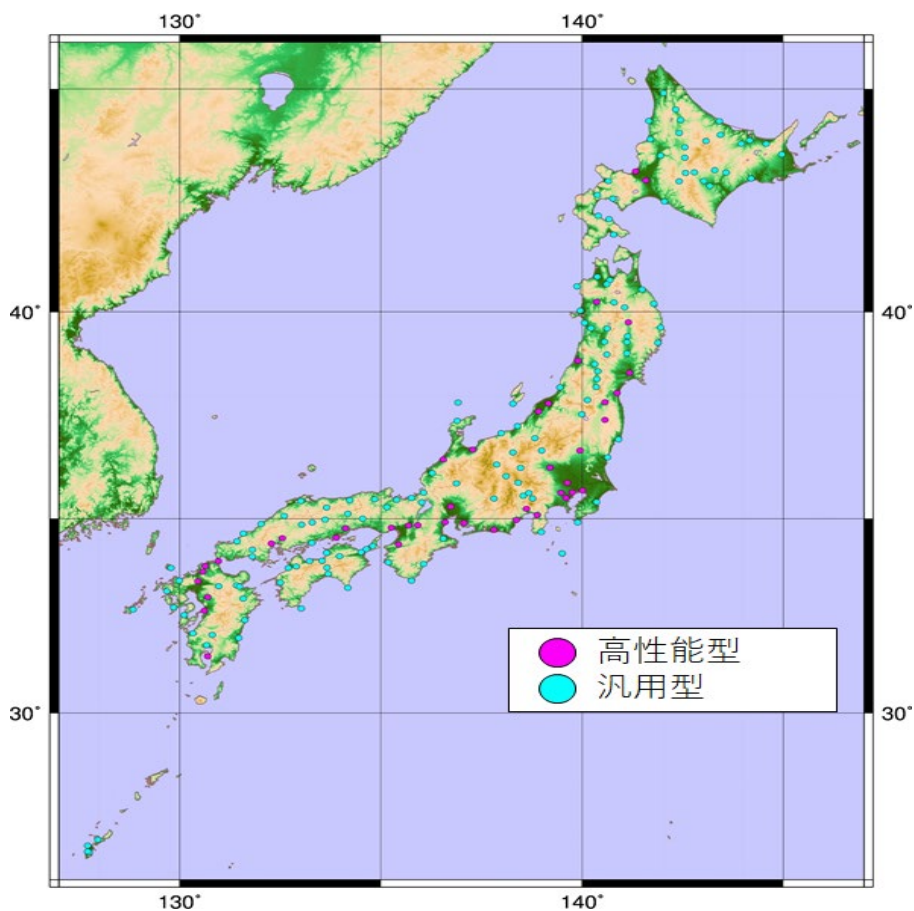
ここで、

- $EIRP$: 与干渉局放射電波強度 (dBm) . . . (送信電力-給電損失+空中線利得)
 - L_p : 電波伝搬損失 (dB) (*)
 - G_r : 被干渉局空中線利得 (dBi) . . . (混信条件によりメイン/サイド)
 - L_r : 被干渉局受信電力損失 (dB)
 - $A(\Delta f)$: 被干渉局と与干渉局の周半数差($\Delta f = f_r - f_t$)から生ずる離調減衰量 (dB)
- (*) L_{p0} : 自由空間伝搬損失、 L_d : リッジ回折損失、 K_r : 大気減衰 の合計値

参考資料8 想定設置場所での混信シミュレーション

(1) レーダー配置図

高性能型レーダーをXバンドレーダ雨量計(X-MP)の設置場所、汎用型レーダーをA社の設置計画場所として、混信シミュレーションを行った。



(2) 混信計算結果

X-MPへの周波数割当てが少ない、周波数9795MHzで混信計算を実施した。A社の設置計画に基づく汎用型気象レーダーがX-MPに混信を与える件数、A社レーダー間で混信を生ずる件数、及びX-MPがA社レーダーに混信を与える件数を表にまとめた。

(ア) メイナーサイド混信結果

メイナーサイド混信結果については次のとおりとなった。

メインーサイド混信結果

		被干渉 (*1, *2)	
		高性能型 (42台)	A社設置計画 (139台)
与干渉	高性能型 (42台)	—	35[30台]
	A社設置計画 (139台)	33[29台]	135[69台]

*1 表中の数字はレーダーグループ間で混信を生じる組み合わせを示す。1台のレーダーから複数のレーダーに混信を与える場合は、その混信数が内数に含まれる。

*2 [] の数字は混信に関わるA社計画のレーダーの台数

(イ) サイドーサイド混信結果

サイドーサイド混信結果については次のとおりとなった。

サイドーサイド混信結果

		被干渉 (*3, *4)	
		高性能型 (42台)	A社設置計画 (139台)
与干渉	高性能型 (42台)	—	8[8台]
	A社設置計画 (139台)	5[5台]	55[36台]

*3 表中の数字はレーダーグループ間で混信を生じる組み合わせを示す。1台のレーダーから複数のレーダーに混信を与える場合は、その混信数が内数に含まれる。

*4 [] の数字は混信に関わるA社計画のレーダーの台数

高性能型レーダーに対する混信計算結果をまとめると、次のとおりとなる。

高性能型レーダーの混信計算結果

混信方向	ビーム会合条件	A社汎用型レーダー
高性能型レーダーに与える混信	メインーサイド	29台
	サイドーサイド	5台
高性能型レーダーから受ける混信	メインーサイド	30台
	サイドーサイド	8台
個別レーダー台数 (*5)		32台

*5 すべてのケースにおいて関与するA社レーダーの個別台数

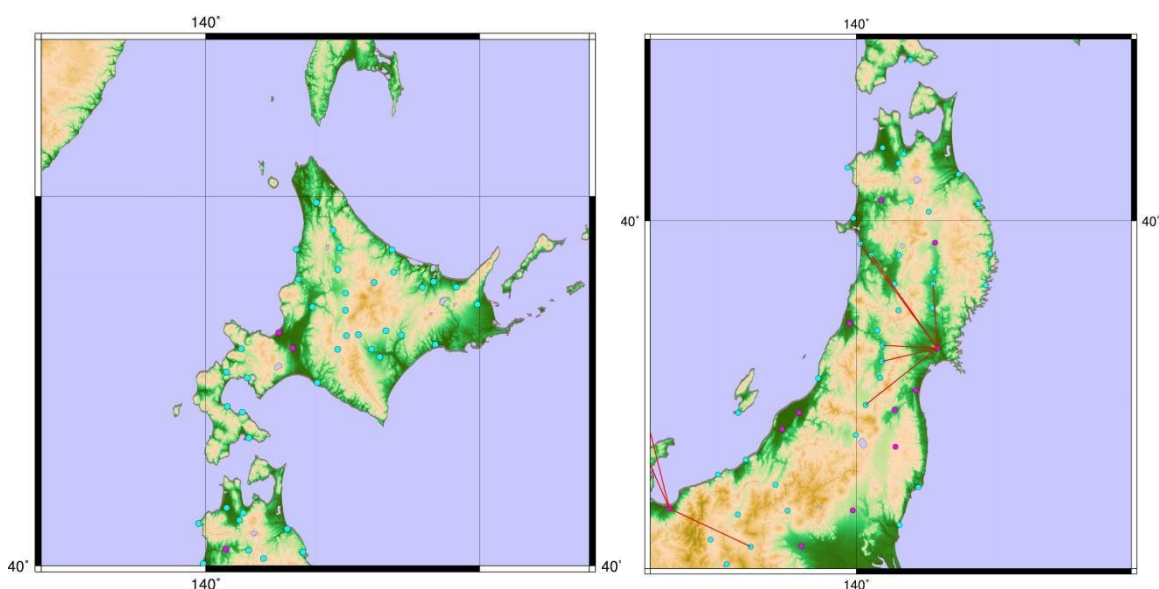
(ウ) 汎用型レーダー1サイトが混信を受ける与干渉数

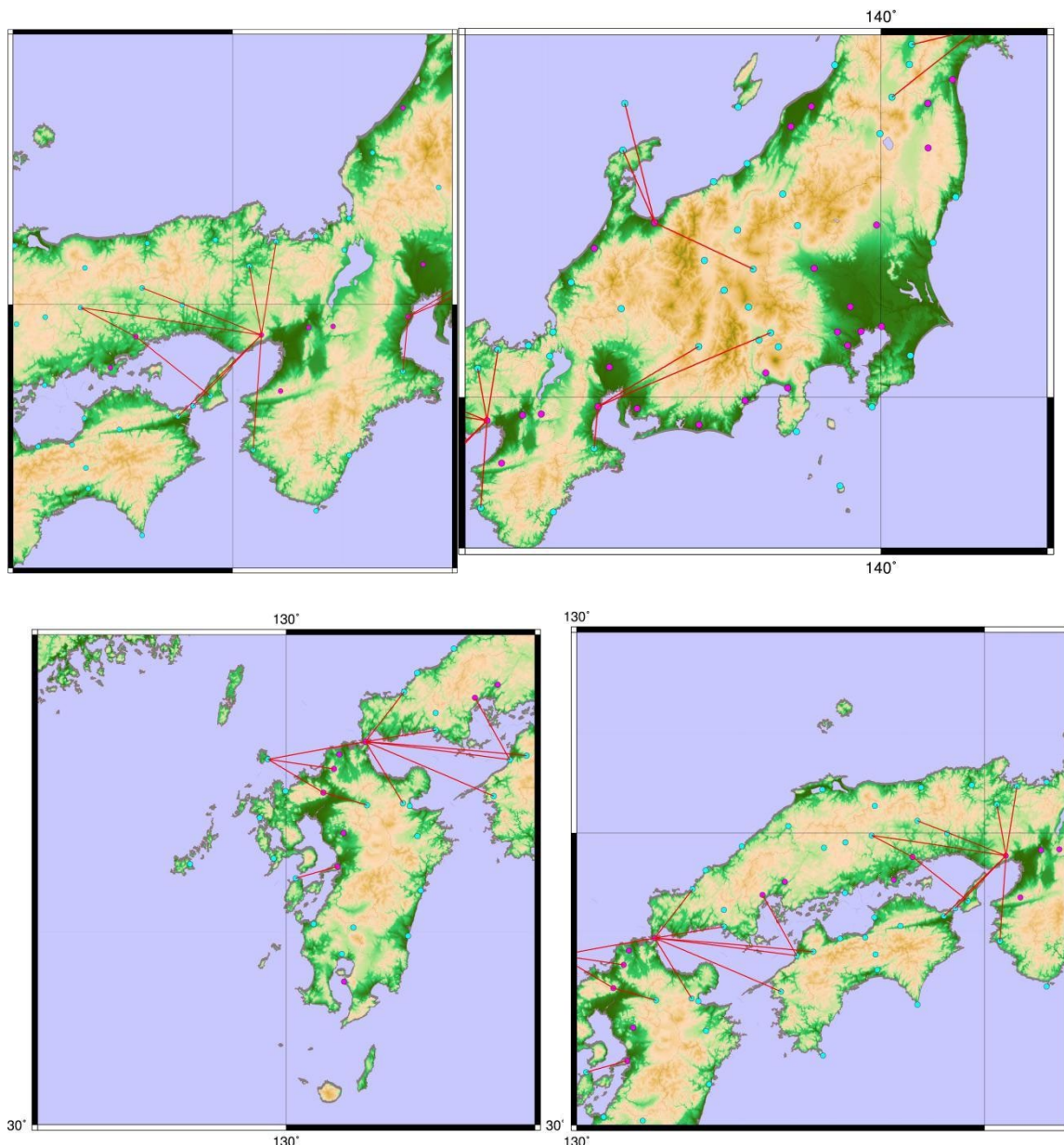
ある汎用型気象レーダーが混信を受ける与干渉数をまとめると次のとおりとなった。混信許容台数（2台）を超えたサイト数は20か所となった。

汎用型レーダー1サイトが混信を受ける与干渉数

サイドーサイド混信	混信を生ずるレーダー台数									3台以上
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
A社計画レーダー	70	34	15	13	3	4	0	0	0	20
与干渉数										

A社が計画している汎用型レーダーが高性能型レーダーに混信を与えるサイトは、次のとおりとなった。



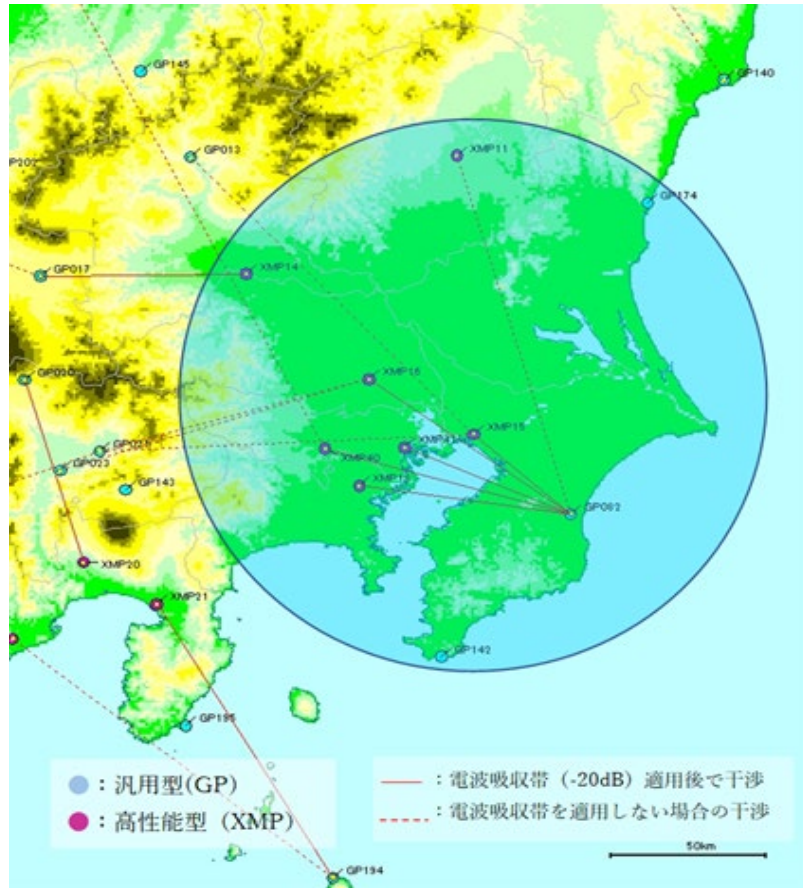


高性能型レーダーとA社計画の汎用型レーダーの位置と混信を与える、
 又はあるいは受けるサイトの位置関係（各エリア）
 凡例 紫色：高性能型レーダー 水色：汎用型レーダー
 赤線：高性能型レーダーに混信を与えるサイトの関係

(エ) 関東での混信シミュレーション

関東エリアにおいて、高性能型気象レーダーの新たな周波数割り当ての余地がない。今後設置が予定される汎用型気象レーダー（予定周波数9795MHz）が、高性能型気象レーダーと同一周波数（高性能型を9795MHzとした場合）でも高性能型に混信を与えるかどうかを検証した。

検証の結果、関東エリアの高性能型レーダーを同一周波数とした場合、1か所で混信することが分かった。千葉県外房の汎用型レーダーに-20dB相当の混信低減対策を適用しても、栃木県内の高性能型レーダーへの混信は避けられないことが分かる。このことは、円内に汎用型レーダーを置くことは、ほぼ難しいことを示している。今後の関東エリアでの高性能型レーダーの周波数割り当ての余地を残すため、関東には汎用型レーダーを設置しないようにすることが必要である。



関東での混信シミュレーション結果

(オ) 関東以外での混信シミュレーション

関東エリア以外では、高性能型気象レーダーの設置状況により、同一周波数以外の選択もある程度許容できるとした場合のシミュレーションも行った。具体的には、同一周波数を割り当てた場合と、5MHz離調（50dB混信電力ダウン）のケースでシミュレーションを行った。

また、電波吸収体の適用など、-20dB相当の対策を行った場合の検討も行った。139か所の汎用型気象レーダーに対してシミュレーションを行った結果をまとめると、以下のとおりとなった。

混信計算結果

離調周波数	電波吸収体適用などの -20dB相当の対策の有無	
	なし	あり
0MHz（同一周波数）	63/139	37/139
5MHz（-50dB）	11/139	5/139
現用周波数	29/139	11/139

参考資料9 汎用型気象レーダーの展開計画の検討結果について

現在計画されている201か所の設置候補場所について、高性能型気象レーダー（国交省X-MP、自治体及び公共機関）と観測範囲が重ならないような設置計画の検討を行った。

<条件1>

高性能型気象レーダーの最低仰角におけるビームの高さが標高1000m以下となるレンジ範囲を観測範囲とし、観測範囲と一定比率（20%とした）以上、重ならないこと。ただし、地形によってビームが遮蔽される場合は、それ以遠は観測範囲と見なさない。

<条件2>

汎用型レーダーの観測範囲は半径30km以内とする。ただし、半径30kmでビームの高さは標高1000m以下となる。

<条件3>

全国的に展開した配置となっていること。

全国的とは、47都道府県中、37都道府県に設置されていることとする。

この条件に基づくと、201ヶ所中139ヶ所について、高性能型気象レーダーと観測範囲が重ならない（重複率20%以下）ことが分かった。

配置箇所の都道府県について、今回の結果を基に計算すると、37都道府県で設置可能となる。設置が困難なのは10府県となる（レーダーが設置できない府県は、宮城県、栃木県、埼玉県、神奈川県、富山県、愛知県、大阪府、奈良県、福岡県、熊本県）。また、条件に合致しなかった61か所は観測範囲の重複率が20%を超えており、高性能型気象レーダーと観測範囲が重ならないようにすることは難しい。

汎用型レーダーが利用できる局数を増やすためには、例えば、送信スペクトルのマスクをより細かく、厳しく設定し、隣接チャンネルへの影響低減等の改良や、局ごとの送信ブランキング等の対策が必要である。

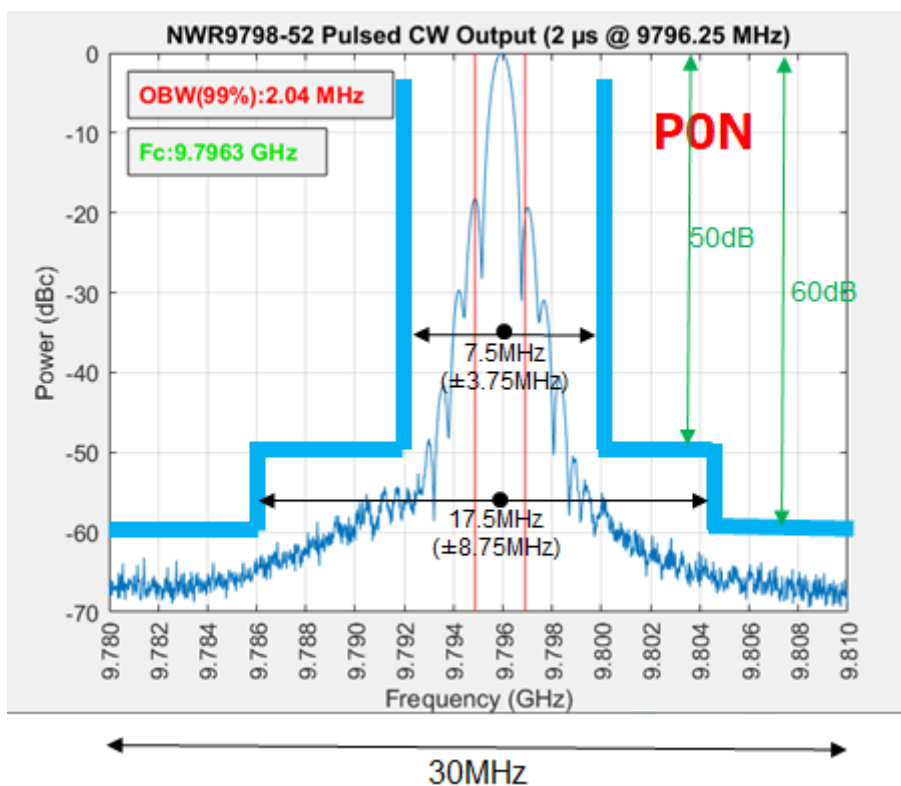
混信計算を行った結果に基づく設置可能な都道府県の割合

離調周波数	設置可能な都道府県の割合
0MHz（同一周波数）	26/47
5MHz（-50dB）	37/47
10MHz（-60dB）	37/47
現用周波数	35/47

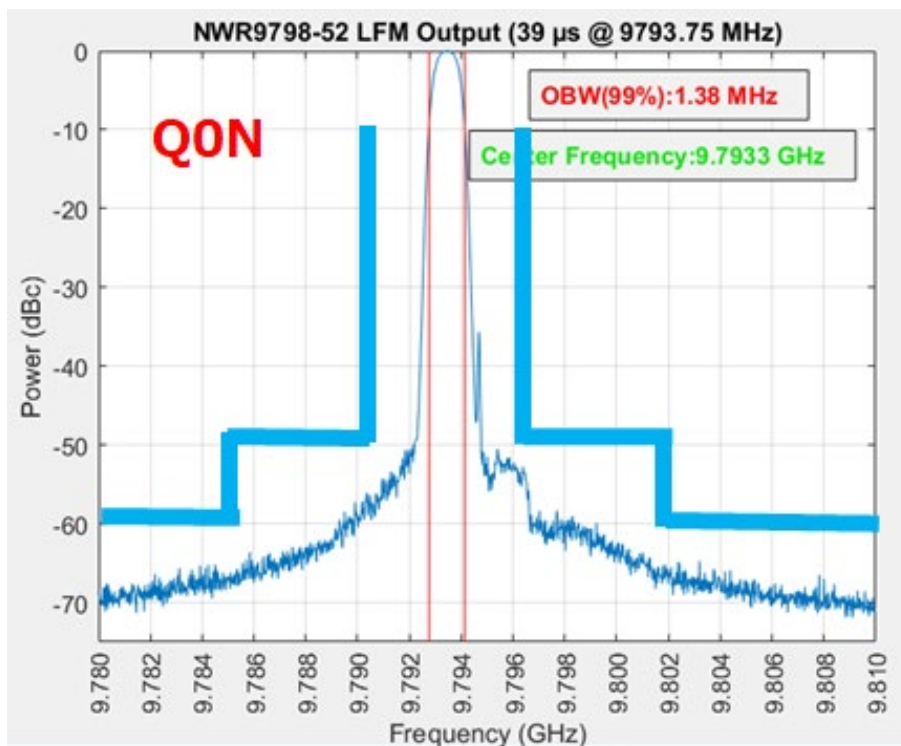
以上を検討した結果、201か所中139か所について、高性能型気象レーダーと観測範囲が重ならない（重複率20%以下となる）ことが分かった。また、高性能型気象レーダーと観測範囲が重ならないにも関わらず、高性能型気象レーダーがすでに汎用型と同一周波数を用いているため、高性能型気象レーダーとの混信が避けられない汎用型気象レーダーが29か所存在することも分かった。

参考資料10 占有周波数帯幅の測定例

占有周波数帯幅（OBW）の測定における測定例を以下に示す。

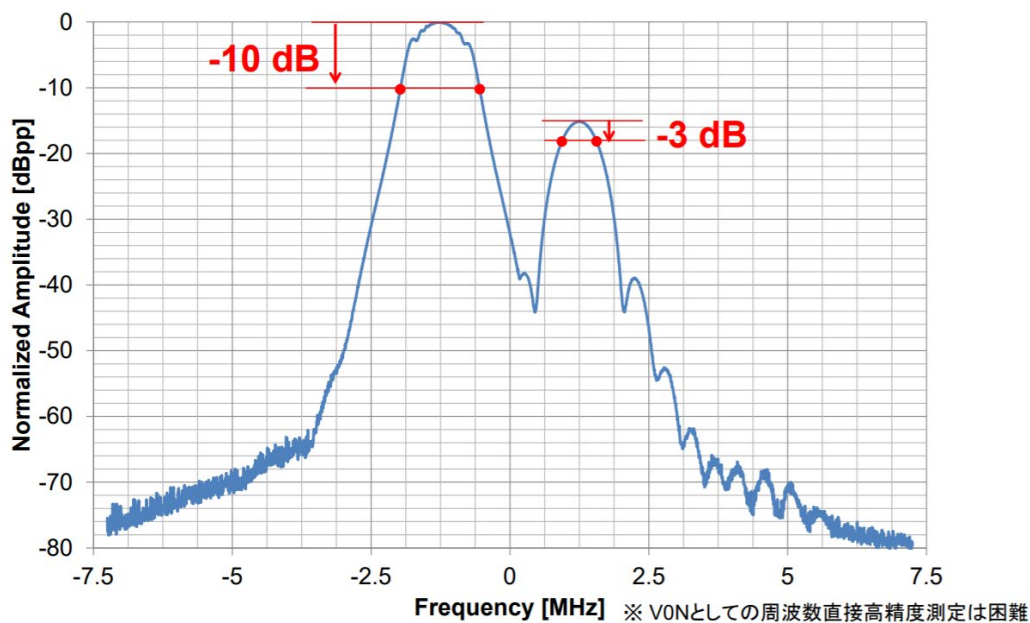


OBWの測定 (P0N)



OBWの測定 (Q0N)

特性周波数のスペクトルの測定例を以下に示す。



OBWの測定 (VON)

表 特性周波数スペクトル測定例

	電波の型式	測定値
OBW [MHz]	P0N	1.26
	Q0N	1.58
	V0N	3.48
送信周波数偏差 [kHz]	P0N	-2.5
	Q0N	-10.0
送信周波数偏差 [ppm]	P0N	-0.27
	Q0N	-1.06

パルス仕様

P0N : パルス幅 $1 \mu s$

Q0N : パルス幅 $50 \mu s$ 、変調幅 2MHz

参考資料11 電波防護指針

我が国では、無線設備から発射される電波について、これまでの科学的知見を基に人体に影響を及ぼさない十分な安全率を考慮した安全基準（電波防護指針）を定め、それに基づき電波法令により安全性を確保している。電波法施行規則第二十一条の三においては、無線設備が安全施設をしなければならない電波の強度について、次のとおり定められている。

電波法施行規則第二十一条の三 （電波の強度に対する安全施設）

無線設備には、当該無線設備から発射される電波の強度（略）が別表第二号の三の二に定める値を超える場所（略）に取扱者のほか容易に出入りすることができないように、施設をしなければならない。（以下、略。）

別表第二号の三の二 電波の強度の値の表（第21条の3関係）

第1

周波数	電界強度の実効値 (V/m)	磁界強度の実効値 (A/m)	電束密度の実効値 (mW/cm ²)
100kHzを超え3MHz以下	275	$2.18 f^{-1}$	
3MHzを超え30MHz以下	$824f^{-1}$	$2.18 f^{-1}$	
30MHzを超え300MHz以下	27.5	0.0728	0.2
300MHzを超え1.5GHz以下	$1.585f^{-1}$	$f^{1/2}/237.8$	$f/1500$
1.5GHzを超え300GHz以下	61.4	0.163	1

注1 fは、MHzを単位とする周波数とする。

2 電界強度、磁界強度及び電力束密度は、それらの6分間における平均値とする。

3 人体が電波に不均一にばく露される場合その他総務大臣がこの表によることが不合理であると認める場合は、総務大臣が別に告示するところによるものとする。

4 同一場所若しくはその周辺の複数の無線局が電波を発射する場合又は一の無線局が複数の電波を発射する場合は、電界強度及び磁界強度については各周波数の表中の値に対する割合の自乗和の値、また電力束密度については各周波数の表中の値に対する割合の和の値がそれぞれ1を超えてはならない。

第 2

周波数	電界強度の実効値 (V/m)	磁界強度の実効値 (A/m)	電束密度の実効値 (mW/cm ²)
10kHzを超え10MHz以下	83	21	2.7×10^{-5}

- 注 1 電界強度、磁界強度及び磁束密度は、それらの時間平均を行わない瞬時の値とする。
- 2 人体が電波に不均一にばく露される場合その他総務大臣がこの表によることが不合理であると認める場合は、総務大臣が別に告示するところによるものとする。
- 3 同一場所若しくはその周辺の複数の無線局が電波を発射する場合又は一の無線局が複数の電波を発射する場合は、電界強度、磁界強度及び磁束密度については表中の値に対する割合の和の値、又は国際規格等で定められる合理的な方法により算出された値がそれぞれ 1 を超えてはならない。