

昭和30年に運用を開始した脊振山気象レーダーの電子技術 ー脊振山上における気象観測の歴史と重要性ー

加島 篤

Electronic Technology Used in Mt. Sefuri Weather Radar Started Operating in 1955:
History and Significance of Meteorological Observation on Mt. Sefuri

Atsushi KAJIMA

Keywords: weather radar, radar relay, mountain weather station

1. はじめに

標高1,055mの脊振山^{脊ふりさん}は、福岡と佐賀の県境に跨がる脊振山地の最高峰で、山頂には元禄9年に築造された脊振神社上宮の石祠¹⁾が鎮座し、明治27年選定の二等三角点「背振山」²⁾の標石が置かれている。玉垣に囲まれた境内を見下ろすように、航空自衛隊脊振山分屯基地が運用する警戒管制レーダーの巨大なレドームが威容を放っている。

主峰から西に1.1km、矢筈峠を越えた先の無名峰(通称:脊振山九六〇高地³⁾)に、福岡管区気象台の脊振山気象レーダー観測所がある(図1参照)⁴⁾。同観測所の1号機は、昭和30年8月に運用を開始した日本初の山岳気象レーダーである³⁾。最大探知距離は300kmで、北は朝鮮半島南端、西は五島列島西方の東シナ海、南は種子島、東は鳥取・広島両県の上空までカバーした。また、観測所から約16.6km離れた福岡市内の福岡管区気象台までレーダー画像を伝送するため、本邦初となるレーダーリレー装置を備えていた。

1号機の新設から67年、脊振山気象レーダー(別名:福岡レーダー)は機種更新を重ねながら九州北部一円の気象観測を継続してきた。写真1は令和3年1月に運用を開始した6号機で、線状降水帯など局地的豪雨の観測と予測に威力を発揮する二重偏波気象ドップラーレーダーが採用されている。

本報では、脊振山における気象観測の歴史を辿るため、昭和16年に開設された旧脊振山測候所について、設置の背景や観測の記録、廃止までの経緯、現存する遺構について解説する。次に、脊振山気象レーダー観測所に設置された初期の気象レーダーと周辺装置の特徴を、電子工学の視点から考察する。また、レーダーエコーによる台風や豪雨の観測、降雨量の推定など当時の気象観測業務を紹介し、同レーダーが果たした歴史的役割を明らかにする。

福岡管区気象台から提供された資料や「気象百年史」、「気象研究ノート」、「東芝レビュー」、レーダー関係の専門書、国立国会図書館デジタルコレクションで閲覧した文献等から多くの引用をさせて頂いた。文中の地形図や電子回路図、信号波形は、原資料を基に新たな情報を書き加えた。

「せふり」の漢字表記には「脊振」と「背振」があり、旧村名や気象庁の施設、郵便局等は「脊振」、国土地理院の旧版地図や航空自衛隊の組織名では「背振」を使用している。本報では「脊振」を基本とし、原資料の表記も尊重した。

周波数の単位は[Hz]とし、空中線電力は送信電力と改記した。マイクロ波帯の周波数による分類では、Sバンド(2-4GHz)、

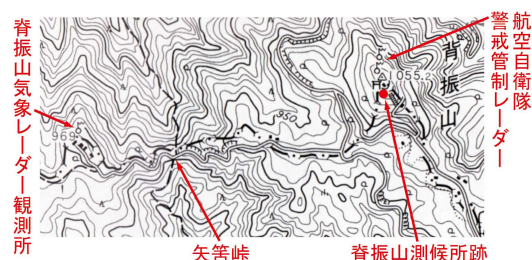


図1 脊振山山頂周辺と気象レーダーの位置
(国土地理院 昭和44年測量の2万5千分1地形図「背振山」から抜粋し、加筆)



写真1 脊振山気象レーダー観測所(加島 篤 撮影, 令和4年3月)

Cバンド(4-8GHz)、Xバンド(8-12GHz)を用いた。また、電波形式は原資料の表記を尊重した。

2. 航空気象観測と脊振山測候所

2.1 航空路線の拡大と中央気象台福岡支台の創立

明治23年1月1日、福岡市東中洲の福岡県立勸業試験場構内に福岡県立福岡二等測候所が設置された⁵⁾。目的は、県内の気象観測と気候調査、中央気象台の天気予報に基づく地方気象予報の発表であった⁶⁾。同測候所は明治29年5月に一等測候所に昇格し、明治40年2月には福岡市郊外の新庁舎(筑紫郡住吉村)に移転している⁷⁾。昭和3年当時、福岡一等測候所は豊前と筑後に出張所、県内21ヶ所に気象観測所、16ヶ所に雨量観測所を配置して地上気象観測を行っていた⁷⁾。同測候所は、昭和6年4月1日に福岡測候所に改称された⁷⁾。

昭和4年7月、国策会社の日本航空輸送株式会社が東京ー大阪ー福岡間で民間航空運送を開始し⁸⁾、同年9月には東京大連線(東京ー大阪ー福岡ー蔚山ー京城ー平壤ー大連)の運

行が始まった⁸⁾。当時は福岡市内に飛行場がなく、陸上機は陸軍太刀洗飛行場(福岡県三井郡大刀洗村、大正8年11月運用開始⁹⁾)を、水上機は通信省航空局所管の福岡飛行場(福岡県糟屋郡多々良村、昭和4年4月開港¹⁰⁾、通称:名島水上飛行場)を使用した⁸⁾。

大正12年4月の気象台官制改正により、航空気象の観測と調査、予報は文部省が所管する中央気象台の業務となっていた¹¹⁾。昭和5年8月25日、文部省は中央気象台の支台と附属測候所の新設を決定した¹²⁾。静岡県の三島支台と箱根山測候所、三重県の亀山測候所、大阪府の大阪支台、福岡県の福岡支台、長崎県五島の富江測候所の6ヶ所で、何れも主要航空路に沿って配置されていた。当時の航空機は有視界飛行で巡航高度も約1,500mと低く¹³⁾、航空路上の山岳や島嶼に配置した測候所での気象観測が不可欠であった。同日、気象台測候所条例施行細則が改正され¹⁴⁾、支台の業務が規定された。業務は、気象予報の発表や暴風警報の発令、地震の観測など多岐に亘り、航空気象の観測と調査、航空機に対する天気予報と暴風警報の発令が含まれていた。

福岡支台は、庁舎の完成まで名島水上飛行場内で事務取扱を行なった¹⁵⁾。昭和6年6月25日に福岡市大名町の庁舎に移転し、名島水上飛行場の旧事務所は福岡支台南島分室となった⁷⁾。名島分室は、上層気流等の気象観測と福岡飛行場との連絡事務を担当した。昭和9年9月、福岡支台は陸軍太刀洗飛行場内に太刀洗出張所を設置している¹³⁾。写真2は名島水上飛行場の絵葉書¹⁶⁾で、左端の博多湾に面した岸壁に水上機を吊架する2基のクレーンが見える。画面右の高い建物の上部に木柵で囲んだ観測台があり¹⁷⁾、ここが名島分室と推定される。2基の鉄塔は福岡無線電信局のアンテナ鉄塔(高さ60m)で、送受信用のT形アンテナが展張されていた¹⁸⁾。

航空無線用の福岡無線電信局(呼出符号JXF)は、名島水上飛行場開港後の昭和4年7月6日に開設され¹⁹⁾、東京無線電信局(呼出符号JYX)と大阪無線電信局(呼出符号JEA)を相手に、中長波帯の持続電波(電波形式A1)と可聴持続電波(電波形式A2)で、航空機の安全航行に関する通信を開始した¹⁷⁾。福岡支台が提供する気象情報も、福岡無線電信局が発信する無線電報で伝達されたと考えられる。

2.2 雁ノ巣飛行場の開港

昭和11年6月1日、福岡県糟屋郡和白村奈多に通信省航空局の福岡第一飛行場(通称:雁ノ巣飛行場)が開港した²⁰⁾。玄界灘と博多湾を隔てる陸繋砂州・海の中道に、陸上機発着用の2本の滑走路と水上機用の滑走台が整備され、民間の陸上

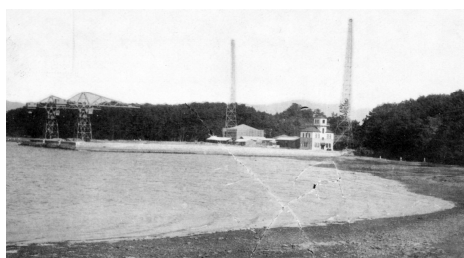


写真2 名島水上飛行場と福岡無線電信局

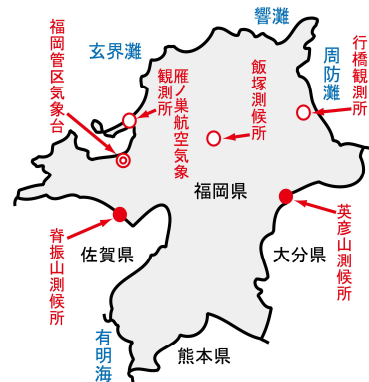


図2 福岡県と周辺の航空気象観測施設(昭和18年頃)

機は陸軍太刀洗飛行場から新飛行場に移った⁸⁾。水上機専用の名島水上飛行場は、福岡第二飛行場に改称された²¹⁾。雁ノ巣飛行場開港に合わせ、福岡支台は太刀洗出張所を廃止し、名島分室を雁ノ巣飛行場内に移転した¹³⁾。名島分室は、昭和12年1月1日に雁ノ巣分室に改称された^{13,22)}。

基幹空港での航空気象観測を重視する中央気象台は、昭和13年7月15日に福岡支台雁ノ巣分室を直轄の福岡第一飛行場気象観測所に変更した²³⁾。同観測所は、昭和14年11月1日付で雁ノ巣航空気象観測所に改称されている²⁴⁾。

昭和12年頃の雁ノ巣飛行場は、内地間の航空路線の外に大連線(東京―大阪―福岡―大邱―京城―平壤―大連)と台北線(東京―大阪―福岡―那覇―台北)が就航していた^{8,25)}。昭和16年頃には、従来の普通線(旧大連線)と台北線に加えて、急行線(東京―福岡―京城―奉天、京城で大連線に接続)や上海線、青島線が開設されていた²⁶⁾。日中戦争の戦線拡大と共に外地向けの定期航空路線が拡張され、空路の要衝として雁ノ巣飛行場の重要性は一層高まっていた。

中央気象台は、昭和12年1月13日に福岡県飯塚市と福岡県京都郡行橋町に直轄の観測所を設置した^{13,27)}。飯塚観測所は福岡支台飯塚出張所の格上げで、昭和16年10月25日に飯塚測候所に昇格している^{13,28)}。図2は、昭和18年頃の福岡県とその周辺の航空気象観測施設である。当時、大阪発の航空機は瀬戸内海上空を飛行して周防灘から進入し、筑豊炭田を通過して雁ノ巣飛行場を目指した⁸⁾。行橋観測所と飯塚測候所が航空路に沿って配置されたことが分かる。

中央気象台が飯塚と行橋に観測所を設置する5年前、この空域で気象に起因する航空機事故が発生した²⁹⁾。昭和7年2月27日、名島水上飛行場を目指した大阪福岡間の定期旅客機(日本航空運輸の飛行艇・白鳩号)が、行橋市上空を通過後に暴風雪に遭遇した。視界不良の中で八幡市上空に迷い込んだ同機は、空中分解を起こして河内貯水池(八幡製鐵所の工業用水源)付近の山中に墜落し、乗員5名が死亡している。

2.3 気象事業の国営化

昭和12年7月の日中戦争勃発後、地方気象事業の国営移管と測候組織の再編が本格化した。主な要因として、日露戦争以降の地方財政の悪化により、地方測候所の維持が困難になったこと、また気象情報の軍事利用が進み、軍部から測候組



写真3 熊本測候所支所阿蘇火山観測所

織の一元化と地方測候所の機能強化を要求されたことが挙げられる¹³⁾。

昭和13年7月14日、福岡県立福岡測候所は中央气象台福岡支台に併合され³⁰⁾、昭和14年11月1日に福岡支台は福岡管区气象台に改称された³¹⁾。福岡管区气象台は、①西部気象管区(九州・山口・沖縄地方)を統括する気象官署、②福岡地方気象区(鹿児島県の種子島・屋久地方以南を除く九州・山口地方)の中核となる地方气象台、③福岡測候区(門司市を除く福岡県)の測候所という三重の役割を担っていた。門司市内の測候は下関測候所(山口県下関市)が担当した³²⁾。

2.4 山岳測候所の設置

昭和14年11月1日の気象管区制導入に併せて、福岡気象管区内の2ヶ所に中央气象台直轄の山岳測候所が誕生した³¹⁾。
温泉岳測候所は、大正12年1月に長崎県立長崎測候所附属温泉岳観測所として創立された³³⁾。事務所は長崎県南高来郡小浜町温泉湯の里、観測所は温泉街の西に聳える絹笠山(標高879m)に置かれた³³⁾。阿蘇山測候所は、昭和6年11月に熊本県立熊本測候所支所阿蘇火山観測所として創立された³⁴⁾。位置は、阿蘇中岳火口に近い熊本県阿蘇郡白川村古坊中(標高1,143m)である。国営移管後に、北に6km離れた阿蘇郡黒川村踊山に山麓事務所が建設された³⁴⁾。

写真3は県営時代の阿蘇火山観測所で³⁵⁾、塔屋(2階部分)の屋上に風杯型風速計や風向計が設置されている。竊模様の木柱は、気象特報や暴風警報等の信号標を掲揚する信号柱である³⁶⁾。写真上部に写る棒状の物体は、信号柱間に展張した受信ワイヤーアンテナの絶縁碍子と推測される。阿蘇火山観測所は、昭和7年7月に報時通信と気象通信を受信する再生検波式受信機を設置している^{37,38)}。報時通信は東京天文台が生成した中央標準時の時報放送で、気象通信は中央气象台や海洋气象台等が放送する気象情報である^{18b)}。同じ目的で、福岡支台や名島分室、太刀洗出張所など多くの気象官署に真空管式長中波受信機が設置されていた³⁸⁻⁴⁰⁾。

県営時代の温泉岳測候所と阿蘇山測候所の業務は、火山活動と火山性地震、山岳気象の観測が中心で、国営移管の際に航空気象の観測と通報の業務が追加されたと考えられる。高山で上層気象を連続的に観測する山岳気象のデータは、航空気象に限らず台風の進路予測や接近する前線の観測、季節予報にとって極めて重要であった¹³⁾。

昭和16年3月31日、中央气象台は航空気象観測網整備の一環として、佐賀県神埼郡脊振村の脊振山に山岳測候所を新設

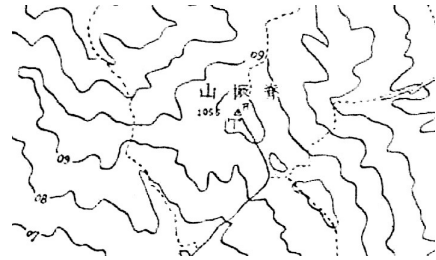


図3 脊振山測候所山頂事務室の位置
(「山岳気象報告」掲載「脊振山測候所附近地形図」より抜粋)

した⁴¹⁾。中央气象台が作成した「気象管制改正に関する参考書」⁴²⁾によると、脊振山測候所は山頂と山麓の2ヶ所に事務室を置き、業務は一般気象・航空気象・山岳気象の観測と通報、無線気象放送(気象通信)の受信であった。同資料は、脊振山測候所の設置理由を次のように記している。

「背振山ハ筑紫山脈中ニ在リテ北九州山岳中著名ノ航空難所ニシテ同山ヲ境トシ北方福岡方面ト南方筑後平野トニ於テ天候ノ急變スルコト多ク特ニ冬期同山方向ノ雲霧ノ状況ヲ知悉スルハ九州循環線東京福岡線及内臺航空路線ノ航空機ノ保安上極テ重要ナルヲ以テ同山ニ測候所ノ設置ヲ必要トス(原文ママ)。」

測候所設置の最大の目的が、雁ノ巣飛行場等を発着する航空機の安全確保であったことが分かる。

図3は、昭和26年発行の「山岳気象報告」⁴³⁾に掲載された脊振山測候所付近の地形図である。三角点の南側、標高1,000m付近に風杯型風速計を模した地図記号が描かれ、山頂事務室は脊振神社上官の参道脇に建設されたと推定される。位置は東経130°23'、北緯33°26'(旧日本測地系)であった⁴³⁾。

図2に示すように、脊振山地は福岡と中国大陸を結ぶ航空路線上に位置し、空の難所として知られていた。昭和11年11月19日、パリー東京間のスピード記録更新のため香港を離陸したフランス人飛行家André Japy氏の単葉機は、東シナ海上空で悪天候に遭遇し、濃霧の中、緊急着陸先の雁ノ巣飛行場に向かう途中で脊振山山腹に墜落した^{44,45)}。

昭和16年12月の太平洋戦争勃発によって民間定期航空路線は休止となり⁸⁾、九州上空を飛行する航空機は軍用機のみとなった。昭和17年3月30日、中央气象台は鹿児島県始良郡牧園町に霧島測候所を設置した⁴⁶⁾。事務所は大浪池に近い林田温泉(標高780m)に置かれ、観測点の標高は1,324mであった⁴³⁾。気象観測は大浪池の火口壁で行っていた可能性が高い。霧島測候所の業務は、火山性地震と上層気象の観測、内地と台湾やタイを結ぶ航空機に対する航空気象通報で、特に航空気象通報は軍事上重要とされていた⁴⁷⁾。

昭和18年10月1日、中央气象台は福岡県田川郡添田町に英彦山測候所(図2参照)を設置した⁴⁸⁾。福岡と大分の県境に聳える英彦山の南岳(標高1,199m)に山上測候所、英彦山神宮参道の旅館街(標高660m地点)に山麓測候所が置かれた⁴⁹⁾。当地には、昭和3年4月に福岡一等測候所の附属施設として観測所(二等測候所)が設置されたが、気象事業国営化の際に廃止されていた^{7,50)}。英彦山測候所の業務は、一般気象・航空

気象・軍用気象の観測、気象電報の有線送信、無線気象放送の受信であった⁵¹⁾。戦争の拡大と共に、山岳測候所は軍用機の飛行を支援する重要施設となった。

2.5 脊振山測候所と脊振郵便局

脊振山測候所の建設工事は昭和15年11月に完了した¹⁾。昭和16年3月31日付で測候所が設置され、即日事務取扱を開始した⁴¹⁾。同年8月12日に観測業務を開始している⁴³⁾。

気象技手は交替勤務のため登山道を往復し、山頂事務室(観測所)と山麓事務室間の連絡には磁石式電話機による専用電話線を使用したと推測される。中央气象台宛ての気象電報は、山麓事務室の職員が脊振村広滝の脊振郵便局に出向き、頼信紙に記入して発信したと考えられる。脊振郵便局は昭和7年12月1日に電信事務を開始しており⁵²⁾、脊振山測候所の開設後は毎日20通以上の気象電報を取り扱ったと云う¹⁾。

脊振郵便局は昭和16年3月に電話交換業務を開始した¹⁾。昭和17年1月1日に脊振郵便局と脊振山測候所間に公衆電話回線が開通し、同局は同年2月26日に気象電報の取扱を開始した¹⁾。この結果、電話による気象電報の託送が可能となり、測候所と中央气象台間の通信も迅速化されたと考えられる。

2.6 脊振山測候所の観測記録

「山岳気象報告」⁴³⁾には、昭和17年1月～昭和23年12月に脊振山測候所で観測された気圧、気温、湿度、風速、風向、雲量、降水量等の月平均値が掲載されている。昭和17年8月、脊振山測候所は九州西部を縦断した大型台風を観測した⁵³⁾。強風でRobinson風力計の風杯を吹き飛ばされたが、時々刻々変化する風速をDines自記風力計で記録した。Dines自記風力計は、風向計に内蔵したピトー管に加わる全圧と静圧の差を、水槽に浮かべた特殊形状のフロートの上下動(風速に比例)に変換し、フロートに連結したペンと回転ドラムに巻いた記録紙で風速の時間変化を自動的に記録する精密な気象器械である⁵⁴⁾。

昭和17～18年の阿蘇中岳の火山活動では、約90km離れた脊振山測候所から阿蘇山噴煙遠望観測を実施した⁵⁵⁻⁵⁷⁾。噴煙の高さや色、たなびく方角を詳細なスケッチ画と共に記録している。

2.7 落雷と雷雲観測

測候所開設前の昭和15年8月2日、脊振山山頂に落雷があり、雷撃によって脊振山神社上宮の石祠が破損した⁵⁸⁾。昭和18年7月21日に脊振山測候所は複数回の雷撃を受け⁵⁹⁾、電話線用水銀避雷器⁶⁰⁾の破裂、Robinson風力計に付属する自記電接计数器⁵⁴⁾の配線焼損、雨水を貯める貯水槽の破損など大きな被害が出た。昭和17～23年の脊振山頂における月別の平均雷雨日数は、8月が10.7日で1位、2位は7月の7.9日であった⁴³⁾。

シカゴ大学教授で竜巻研究やダウンバーストの発見で知られる藤田哲也氏は、明治専門学校助教授であった昭和22年8月24日に、脊振山測候所で雷雲観測に参加している⁶¹⁾。藤田氏が執筆し、渡米の契機となった論文⁶²⁾に掲載された図の一部を図4に示す。上段は雷雲中に下降気流が存在すること

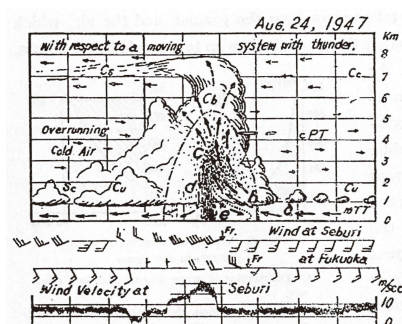


図4 脊振山頂で観測された雷雲の構造と下降気流
(藤田哲也著“Micro-analysis Study of Thunder-Nose”より図の一部を抜粋)

を示唆する図で、下段のグラフはDines自記風力計で測定した脊振山頂における風向と風速の時間変化である。

藤田氏は回想録の中で、「雷雲が山頂上空に達すると20メートル以上の強風が吹き、気圧は狂ったように変動した。小屋に被害はなく、風と気圧の変化を自記計が完全に記録した。大谷和夫所長の長年にわたる整備と努力のおかげだった」と述懐している⁶¹⁾。

2.8 山岳測候所の廃止

敗戦後、山岳測候所を取り巻く状況は一変する。連合軍最高司令官総司令部(GHQ/SCAP)は、昭和20年11月18日に「商業用および民間航空に関する覚書」⁶³⁾を日本政府に送り、民間航空機の運航を禁止した。また、米軍の航空機は飛行高度が高く、航空無線標識のNDB(non-directional radio beacon)や双曲線航法のLoran(long range navigation)など電波航法システムの導入^{64,65)}と航空管制レーダーの配備によって、山岳測候所での航空気象観測が不要になったと考えられる。

昭和23年2月、日本の気象業務を統括する米空軍第2143気象航空団(2143rd Air Weather Wing)は、中央气象台に対し気象組織の改廃および人員整理による組織の近代化と経費削減を指示し¹³⁾、山岳測候所はラジオゾンデによる高層気象観測で代替可能と主張した。その結果、終戦時に全国18ヶ所を数えた山岳測候所は昭和25年までに13ヶ所が廃止された^{13,43)}。九州内では、昭和24年3月31日に英彦山測候所と霧島測候所が廃止された⁶⁶⁾。脊振山測候所も昭和24年9月30日に観測業務を停止し⁴³⁾、昭和25年6月1日付で廃止されている^{13,67)}。一方、火山観測を行う温泉岳測候所と阿蘇山測候所は存置された^{33,34)}。

写真4は、昭和29年1月に英彦山南岳山頂で撮影されたスナップ写真である。廃屋となった英彦山山頂上測候所の塔屋が登山者用の展望台として利用されている。



写真4 英彦山山頂上測候所
(加島昭三氏提供、昭和29年1月撮影)

2.9 米軍レーダーの建設

敗戦後、雁ノ巣飛行場を含む海の中道一帯や昭和19年に日本陸軍が福岡市東部に建設した⁶⁵⁾ 席田飛行場が米軍に接收され、板付基地 (Itazuke Base) と総称された⁶⁸⁾。朝鮮半島における東西陣営の緊張が高まった昭和23年、海の中道の先端・西戸崎に司令部を置く米空軍第610航空管制警戒隊 (610th Aircraft Control & Warning Squadron) は、西戸崎に連なる陸繋島の志賀島と、脊振山の山頂北側に可搬型航空レーダーを設置した⁶⁹⁾。米極東軍総司令部 (GHQ/FEC) の文書は、昭和23年6月上旬に九州に上陸したジュディ台風 (typhoon Judith) による豪雨で、脊振山レーダー基地 (Seburi-yama radar site) の専用道路が損壊したと記録している⁷⁰⁾。昭和25年6月に朝鮮戦争が勃発すると、前戦出撃基地となった板付基地には夥しい数の米軍機が発着し、早期警戒と航空管制を担う脊振山レーダー基地も、高性能レーダーへの換装など基地機能の強化が行われたと推測される。

前述のように、脊振山測候所の業務停止は昭和24年9月末で、米空軍による脊振山レーダー設置後も山岳気象の観測を継続したと考えられる。昭和24年6月に鹿児島県に上陸し、日本各地に大きな被害を与えたデラ台風 (typhoon Della) について、脊振山測候所は台風が九州北部を通過する際の風速変化を詳細に記録している⁷¹⁾。

藤田氏の証言^{72,73)}によると、福岡管区気象台職員のタナカ氏が脊振山の米軍レーダー基地周辺で雷雲に関するシカゴ大学の論文⁷⁴⁾を拾得し、気象台を訪れた藤田氏に渡したという。論文を読んだ藤田氏は、著者のByres教授に脊振山での雷雲観測に関する自身の論文を送付し、それがシカゴ大からの招聘に繋がったと云われている⁶¹⁾。

脊振山の米軍施設の大部分は、昭和35年7月に航空自衛隊に移管され⁷⁵⁾、背振山分屯基地の施設となった。

2.10 脊振山測候所跡

現在、脊振山山頂の北側に航空自衛隊の警戒管制レーダーと地上電波測定装置が設置され、南側斜面には背振山分屯基地のフェンスに沿って脊振神社上宮への参道が続いている。石段の途中に踊り場があり、その西側に西日本新聞社の「脊振超短波無線中継局」が置かれている。写真5(a)に示すように、一列に並んだ石灯籠の奥に金網フェンスに囲まれた無線中継局と2基のグランドプレーンアンテナがある。無線中継局が建つ長方形の草地は、図3に描かれた旧脊振山測候所の位置と符合する。区画の南東と南西の隅には、花崗岩製の境界標が埋設されている。写真5(b)の標柱Aは山頂駐車場へ下る石段の横、写真5(c)の標柱Bは配電用電柱の根元にあり、両標柱の頂部には「文」の文字が刻まれている。

脊振山測候所が設置された昭和16年当時、中央気象台は文部省の所管であった。昭和18年11月1日に運輸通信省に移管され⁷⁶⁾、昭和20年5月19日に運輸省の所管となった⁷⁷⁾。よって、写真5に示す標柱は文部省用地を示す境界標で、この場所が脊振山測候所山頂事務室の跡地と推定される。

昭和18年7月発行の「気象要覧」⁷⁹⁾に掲載された山頂事務所の写真から、敷地内には北側のA庁舎(屋上は木柵に囲まれ



(a) 脊振山測候所跡と境界標埋設地点



(b) 標柱A(左側)



(c) 標柱B

写真5 脊振山測候所跡と境界標 (加島 篤 撮影, 令和4年5月)

た観測台)と南側のB庁舎(宿舍)の2棟が建つことが分かる。終戦後に建設された米軍の脊振山レーダー基地は脊振山測候所から約60mの至近距離にあり、気象台の職員がレーダー基地のゴミ箱からByresの論文を拾ったとするエピソードの信憑性は高いと考えられる。

3. 気象レーダーの開発

3.1 マイクロ波レーダーの登場

第二次世界大戦後、旧連合国ではレーダー気象学の研究が急速に発展した。その端緒は、航空機に搭載し夜間の爆撃や索敵を支援するマイクロ波レーダーの開発にあった。

1939年9月の大戦勃発後間もなく、英空軍によるドイツ領内への爆撃が開始された⁷⁸⁾。初期の昼間爆撃では、ドイツ軍の地上配備型早期警戒レーダーFreya(形式名FuMG80, 周波数125MHz)に捕捉され、対空砲火や出撃したドイツ空軍の戦闘機により多くの爆撃機が撃墜された⁷⁸⁾。その後、英空軍の攻撃は夜間爆撃に移行し、爆撃機に搭載可能な小型・高分解能の機上レーダーの開発が急務となった。

1940年2月、英Birmingham大学のF.RandallとA.H.Bootは、水冷式の多分割共鳴空洞マグネトロン (resonant multi-cavity magnetron) で、波長9.8cm、連続出力400Wのマイクロ波発振に成功した⁷⁹⁾。短波長高出力マグネトロンの実用化を受けて、英GEC社 (General Electric Company) と英空軍省研究施設 (Air Ministry Research Establishment) は波長10cmのSバンドレーダーの開発に着手した⁸⁰⁾。英空軍は1941年末までに、爆撃機に接近するドイツ夜間戦闘機を探知する迎撃レーダーAI Mark IIIと、地形図と照合して自機の位置を知る地文航法用の地形表示レーダーH2Sを完成させた⁷⁸⁾。これらSバンドレーダーの関連技術は、直ちに米国に供与された。

1940年、Sバンドレーダー開発中のGEC社研究所で降雨に

よるエコーが観測された⁸¹⁾。その後、降水エコーの理論的研究が進展し、英国気象局(Met Office)は終戦前に波長10cmのSバンドレーダーを備えたレーダー研究所を設立した⁸⁰⁾。

1941年12月に米国が参戦すると、ドイツ軍のUボートは北米東海岸沖を遊弋し、連合国の商船を次々と撃沈した。Uボートは、蓄電池を充電するため夜間海面に浮上してディーゼル機関を運転する。米陸軍航空軍(US Army Air Forces)は夜間浮上中のUボートを探知するため、1942年に対潜哨戒用の爆撃機にSバンドレーダー(形式SCR-517)を搭載した⁸²⁾。同レーダーは暴風雨による強いエコーを捉えたが、200MHzや400MHzの旧式レーダーに反応は見られなかった。米陸軍航空軍気象部(USAAF Weather Service)は、Massachusetts工科大放射線研究所(MIT Radiation Laboratory)と共同で、湿度等の大気条件や海面での反射がマイクロ波の伝搬特性に与える影響を調べ、対潜レーダーの改良を進めた。レーダーによる気象観測の重要性を認識した米陸軍航空軍は、1944年に気象担当将校を対象にレーダーの理論と気象観測への応用を学ぶ訓練プログラムを開始し、人材育成に努めた⁸²⁾。

終戦後、志賀島や脊振山にレーダーを設置した米空軍第610航空管制警戒隊にも、レーダー気象学に精通した気象担当将校が配属された可能性がある。彼らが雷雲に関するByersの論文を脊振山頂のレーダー基地に持ち込み、それが藤田氏に渡ったのかも知れない。

3. 2 日本におけるレーダーの開発

昭和9年4月、日本無線電信電話株式会社は海軍技術研究所と共同でマグネトロンの研究を開始し、昭和14年に世界に先駆けて波長10cm、連続出力500Wの水冷式陽極分割型共鳴空洞マグネトロンを完成させた⁸³⁾。昭和16年10月に完成した波長10cm、送信尖頭出力2kWの水上見張り兼射撃用レーダー(二号電波探信儀二型)は、送信用と受信用の2つの電磁ラッパ(ホーンアンテナ)を備え、アンテナの回転は手動であった^{83,84)}。同レーダーは昭和17年4月に戦艦伊勢・日向に搭載され、その後多くの水上艦艇や潜水艦に装備された。なお、日本無線電信電話は昭和17年12月に商号を変更し、日本無線株式会社(以下、日本無線)となった⁸³⁾。

日本無線の技術者は、レーダーの性能試験中に富士山や狭山丘陵からのグランドエコーが雨雲の襲来で消失する現象に遭遇し、気象観測への応用を着想したと云う⁸⁵⁾。

終戦後、GHQ/SCAPは日本でのレーダーの研究と製造を禁止した。昭和21年8月、GHQ/SCAPは危機的な食糧事情を緩和するため南氷洋捕鯨の再開を認め、同年秋に日本水産株式会社と大洋漁業株式会社の2船団が派遣された⁸⁶⁾。昭和22年の第二次南氷洋捕鯨出漁では、冰山や島嶼を探知する保安用レーダーの使用が許可され⁸³⁾、米軍による接收後に旧呉海軍工廠で廃棄を免れていた二号電波探信儀二型が活用された⁸⁵⁾。昭和22年11月6日、日本無線が改修したレーダーを搭載した2隻の捕鯨母船(日本水産の橋立丸、大

洋漁業の第一日新丸)は、それぞれの船団を率いて日本を出航した^{83,87)}。

3. 3 気象レーダーの試作と実験機の開発

中央気象台の気象研究所(東京都杉並区馬橋)は、昭和24年頃より気象レーダーの研究を始め、GHQ/SCAPに気象レーダーの開発許可を求めた¹³⁾。GHQ/SCAPは昭和25年にレーダー開発を許可したが、①アンテナの仰角を変化しない、②アンテナの回転は手動で行う、③レーダーの指示器はAスコープ(時間を横軸にエコーの振幅を縦軸とする表示法)に限るなど厳しい条件を課した^{13,85)}。昭和25年4月、気象研究所は東大、日本無線と共に気象レーダー委員会を設立した^{83,85)}。同委員会は文部省から科学研究費を交付され¹³⁾、周波数3GHz(波長10cm)、送信尖頭出力250kWのSバンド気象レーダーを試作した⁸³⁾。レーダーの製作は日本無線が担当した。

昭和26年6月、運輸省の補助金を得た気象レーダー委員会では、対象物までの距離と方位を極座標で表示するPPI表示(plan position indicator)が可能なXバンド(9GHz帯)気象レーダーの研究を開始した^{83,88)}。当時、気象レーダーの先進国である米国ではXバンドレーダーが主流であった⁸⁹⁾。また、Xバンド用高出力マグネトロンは輸入品に限られていた¹³⁾。

昭和27年9月にサンフランシスコ講和条約が締結されるとレーダーに関する規制が解除され⁹⁰⁾、昭和28年4月には気象研究所にレーダー実験局の設置が許可された¹³⁾。昭和29年3月、日本無線が製造したXバンド気象レーダーが気象研究所に設置された^{88,90)}。同レーダーの諸元を表1に示す⁹⁰⁾。マグネトロンには、米国のRaytheon社やSylvania社が製



写真6
気象研究所に設置された
Xバンド気象レーダー
(日本無線株式会社 提供)

表1 日本における初期の気象レーダー(矢島幸雄著「レーダー取扱の実際」より)

設置場所	気象研究所	大阪管区气象台	福岡管区气象台	気象庁
設置年月	昭和29年5月	昭和29年8月	昭和30年8月	昭和30年10月
型式	NMD-451	NMD-452	CMO-MR54T	CMO-MR54M
製造者	日本無線	日本無線	東京芝浦電気	三菱電機
用途	実験用	現業用	現業用	現業用
中心周波数	9375MHz	9375MHz	5300±50MHz	5300±50MHz
波長	3.20cm	3.20cm	5.66cm	5.66cm
送信尖頭電力	270kW	270kW	300kW	300kW
パルス幅	0.8μs	0.9μs	1.0μs	1.0μs
パルス繰返周波数	400Hz	500Hz	400Hz	310Hz
最小測定距離	180m	180m	300m	180m
最大測定距離	250km	200km	300km	300km
アンテナ直径	200cm	200cm	300cm	300cm
アンテナ高さ(海拔)	62m	36m	968m	58m
導波管延長	14m	20m	15m	2m
最小受信感度	-93dBm	-94dBm	-94dBm	-94dBm
有効最小受信感度	-89dBm	-89dBm	-92dBm	-93dBm
指示器	PPI, RHI, A	PPI×2	PPI	PPI, A
エコーボックス	無	有	有	有

造した4J50を使用した^{91,92)}。4J50はアノードに16個の共鳴空洞(resonator hole and slot)を持ち、入力電圧20kVで尖頭出力電力250kWである⁹³⁾。指示器はPPI表示とAスコープ表示に加え、対象物までの距離を横軸に高度を縦軸とするRHI表示(range height indicator)が可能であった⁸⁸⁾。

同レーダーのアンテナとアンテナ走査部を写真6に示す⁸³⁾。パラボラアンテナはアルミニウム鋳物製で直径は200cm、放射器は電磁ラッパ、アンテナ高さは海拔62mで、仰角範囲0°～90°、回転速度は10rpmであった⁹⁰⁾。同レーダーは、昭和29年8月に九州から関東までを横断した台風5号を観測し、日本初となる台風の目の映像化に成功している⁹⁴⁾。

3. 4 現業用Xバンド気象レーダー

昭和29年9月、大阪管区気象台(大阪市生野区勝山通)に、本邦初の現業用気象レーダーが設置された⁸⁸⁾。日本無線製のXバンドレーダーで、大阪レーダーの1号機である。気象研究所に設置されたレーダーと同等級で、マグネトロンも輸入品が使用された⁸⁹⁾。表1に示すように、本機はPPI表示の指示器が主副2台あり、エコーボックス(送受信装置の総合特性を監視するための擬似反射波発生装置)や反射波積算装置(降水エコーを電氣的に積算して任意範囲、任意時間内の総雨量を求める電子計算機)を備えていた^{88,90)}。大阪平野の中央部に位置する本機は、アンテナ高さが海拔36mと低いため最大測定距離は200kmに留まっていた。

Xバンドレーダーは降水による電波の減衰が大きく、孤立した雷雲の探知に効果はあるが、広大な降水域を伴う台風の観測には適していない⁸⁹⁾。昭和36年9月、四国から近畿・北陸地方を縦断し大阪湾岸に大きな高潮被害をもたらした第2室戸台風¹³⁾の観測で、大阪レーダー1号機は大阪上空付近を通過する台風の目を補足できなかった⁹⁵⁾。

4. 脊振山気象レーダーの建設

4. 1 福岡レーダー設置計画と昭和28年西日本水害

昭和29年、中央気象台は新たにレーダー委員会を発足させ、気象レーダー網の整備計画とレーダーの周波数について検討を行った⁹⁶⁾。その結果、大阪に続く現業用気象レーダーを中央気象台と福岡管区気象台に設置すること、日本の気象、地勢、年間降水量等を考慮し、今後整備する現業用気象レーダーの周波数はCバンド(5.3GHz)を標準とすることが決定された⁹⁶⁾。なお、中央気象台は昭和31年7月1日に運輸省の外局である気象庁に昇格している¹³⁾。

気象レーダー整備事業の中で福岡レーダーが優先された理由は、偏西風による西から東への天気の変化を考慮して、日本西端で台風の常襲地域である九州に気象レーダーを配置し、全国の気象予報に有用な観測データを得るためと推察される。また、昭和28年6月に発生した「昭和28年西日本水害」が、福岡レーダーの早期設置を後押しした可能性もある。

昭和28年の梅雨は5月下旬から7月20日頃まで続き、停滞した梅雨前線の活発な活動によって西日本各地に大きな被害をもたらした⁹⁷⁾。この豪雨による九州・山口地方の死者・行方不明者は1,000名を超えている。特に、6月25～29日に九

州北中部を襲った集中豪雨では、遠賀川、筑後川、嘉瀬川、矢部川、白川などの主要河川が氾濫し、地滑りや土砂崩れも頻発して大きな被害を出した。鉄道網も寸断され、6月28日には本州と九州を結ぶ物流の大動脈である関門鉄道トンネルが水没し、全面復旧までに3週間を要している⁹⁷⁾。

4. 2 脊振山九六〇高地

福岡管区気象台では、倉石六郎台長を中心に「レーダー談話会」を開き、福岡レーダーの設置点や運用方法について検討を重ねた⁹⁵⁾。博多湾に近い福岡管区気象台庁舎の標高は約2mで、庁舎に隣接してレーダーを設置した場合は、福岡・佐賀・長崎の3県に跨がる筑紫山地が楯となり、降水エコーの広範囲な観測が困難である。一方、筑紫山地を構成する地塊の一つ、標高1,000m級の脊振山地の峻峰にレーダーを設置すれば、九州・山口地方の大部分が観測可能となる。しかし、山頂観測所の建設や観測データを気象台に送る伝送装置の導入に多額の予算が必要で、積雪や暴風雨など気象条件が厳しい山上での観測や機器の保守など、運用面でも様々な困難が予想された。

検討の結果、以下の3点が決定した^{3,92)}。①福岡管区気象台庁舎の南方(約16km)に聳える脊振山付近に、日本初の山岳気象レーダーを建設する、②日本初のレーダーリレー装置を導入し、観測所に設置した指示器の映像を固定マイクロ波通信回線で気象台に伝送し、予報センターの指示器で表示する、③観測所と気象台の連絡用に、固定マイクロ波回線を利用した専用電話を開設する。調査の結果、福岡レーダーの建設地は脊振山山頂から西に1.1km離れた脊振山九六〇高地(標高969m)に決定した³⁾。

福岡レーダーの脊振山への設置は、倉石台長の強力なリーダーシップによって実現したという¹³⁾。倉石氏の胸中には、昭和16年から8年間に亘って山岳気象観測の拠点であった脊振山測候所への想いと、脊振山山頂を占拠して対馬海峡を睥睨する米軍レーダーに対する複雑な感情があったのかも知れない。

4. 3 気象レーダー観測所の建設

図5は、脊振山気象レーダー1号機(以下、1号機)の配置図である³⁾。レーダー設置点は東経130°18'、北緯33°28'(旧日本測地系)で、高さ5mのアンテナ鉄塔を岩場に建設してレーダー用パラボラアンテナを据え付け、鉄塔東側の稜線を掘削して観測局舎を建てた。脊振山九六〇高地と福岡管区気象台を結ぶ直線上に標高597mの油山があるため、レーダーリレー用の固定マイクロ波回線は、気象台西方約2kmの福岡県立修猷館高校に設置した反射板で無給電中継を行った³⁾。

1号機の建設資材は、福岡の市街地から脊振山までの約30kmをトラックで輸送し、山頂付近から九六〇高地までの約2kmは人力と牛の背で搬送した^{3,95)}。山田、^{カニモリ}不入道、板屋の集落を通して福岡県側から脊振山頂に至る道路は、米軍が脊振山レーダー基地の建設時に整備したと推測される。なお、九州電力からの受電線(三相3,300V、容量10kV)は、400m離れた既存の配電柱から分岐して架設された。

写真7は、初期の脊振山気象レーダー観測所(以下、レー

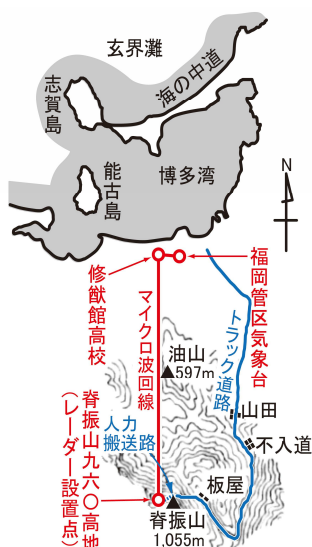


図5 脊振山気象レーダー配置図
(矢島幸雄著「レーダー取扱の実際」の図に加筆)



写真7 気象レーダー1号機と観測局舎
(福岡管区気象台 提供, 朝日新聞社 撮影)

ダー観測所)である。アンテナ鉄塔上のパラボラアンテナとアンテナ走査部は耐風防水型で、風雪や着氷から保護するレドームはなく、剥き出しの状態に据え付けている。鉄塔中段の北側には、レーダーリレー用パラボラアンテナが設置されている。鉄塔南側の一段低い平地に、木造平屋で寄棟造りの観測局舎がある。局舎北側からアンテナ鉄塔に向かって給電用の導波管が伸び、局舎南側の軒先には避雷針が立っている。局舎に隣接する小屋は便所で、便所の脇には変圧器を載せた配電柱が見える。2台の柱上変圧器で三相3,300Vを機器用の三相220Vと電灯・電熱用の単相100Vに降圧し、局舎内の配電盤に引き込んだと推定される³⁾。

4.4 気象レーダー1号機の仕様と特徴

1号機の諸元を表1に示す。主要機器の製造と据付は東京芝浦電気(以下、東芝)が担当した。中心周波数は現業用気象レーダーの標準である5.3GHz、アルミニウム製パラボラアンテナの直径は300cm、送信尖頭電力は300kWで、レーダーの仕様は同時期に計画された気象庁のレーダー(東京レーダー1号機、製造は三菱電機)とほぼ同じである。最大の特徴はアンテナ高さで、平野部に設置された他の気象レーダーに比べ、海拔968mの脊振山気象レーダーはより遠方の雨域を探知で

きる。実際は、送受信機とアンテナを接続する給電用の導波管が15mと長く伝送損失が大きいため、最大測定距離は東京レーダーと同じ300kmである。

写真8は1号機のアンテナ鉄塔で、鉄塔の上部と中段に木の足場があり、設置工事中の写真と推定される。レーダーアンテナ給電用の導波管は、引抜加工で製造した内寸47.55mm×22.15mmの矩形導波管である³⁾。アンテナ走査部の内部で円形導波管に変換し、円形導波管を内蔵したロータリージョイントで水平回転用の軸受部分を通し、再び矩形導波管に変換する。パラボラアンテナの仰角を変えるため可撓導波管でパラボラの背面に密着し、貫通した吹付導波管の開口部がパラボラの表面に対向している。吹付導波管は90°の振れ導波管で、水平偏波のマイクロ波をパラボラに放射する³⁾。

レーダーアンテナの仕様と性能を表2に示す^{3,98)}。低仰角で水平走査した場合は、東方1.1kmの脊振山山頂がビームを遮るため、方位角で68°~86°の範囲(豊後水道方面)が死角となる^{3,99)}。アンテナ走査部は、台風襲来時の強風を想定した瞬間風速62mに耐える設計で、アンテナ鉄塔も山形鋼を六角錐台形に組んだ堅牢な構造が採用されている(写真8参照)。レーダー設置点の土質は岩盤で表土が薄いため、アンテナやアンテナ鉄塔、給電用導波管の接地抵抗を下げるのが困難であった³⁾。落雷による雷電流から局舎内の電子機器を保護するため、導波管の局舎引込部に断路器を設けたほか、アンテナ走査部と接続する各種ケーブルも短時間で切断可能な構造となっている。

アンテナの方位角は水平駆動軸に取り付けたセルシン発信機で検出し、電気的角変換機構により指示器のPPI表示で輝線の回転同期を行う³⁾。アンテナの仰角もセルシン発信機で検出し、仰角信号として指示器に送る。セルシンはシンクロ電機の名で、三相巻線の固定子を持つ三相セルシンが一般的であるが、脊振山気象レーダーではレーダーリレーの回線数を減らすため、角度信号がsinとcosの2成分で済む二相セルシン(単相励磁型レゾルバ)を採用した^{3,100)}。

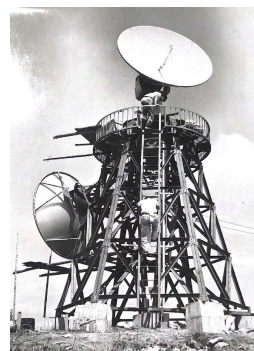


写真8 気象レーダー1号機のレーダーアンテナとレーダーリレー用アンテナ(福岡管区気象台提供)

表2 気象レーダー1号機のレーダーアンテナの仕様

仰角範囲	-1.3°~45°	耐風圧強度	風速62m
仰角可変速度	10°/min	自重	2.4t
水平走査範囲	360°連続回転	ビーム幅(水平)	1.15°
水平走査速度	約12rpm	〃(垂直)	1.15°
角度信号発信機	二相セルシン	アンテナ利得	41.75dB

4.5 システム構成

1号機の機器系統図を図6に示す^{3,90)}。脊振山気象レーダーは、レーダー送受信機で発生させたマイクロ波パルスを送受信機から放射する。受信したエコー信号を検波・増幅してエコー強度に応じた映像信号を生成し、監視指示器でPPI表示する。監視指示器に集約された映像信号と各種同期信号は、リレー送信端局で混合されて多重信号となる。多重信号は7GHz帯FM送受信機でFM変調され、レーダーリレー用固定マイクロ波回線で福岡管区気象台に伝送される。気象台は、受信したマイクロ波を7GHz帯FM送受信機でFM復調して多重信号を復元する。リレー受信端局は多重信号を時分割して映像信号と各種同期信号に分離し、主指示器でPPI表示する。レーダー観測所と気象台間の連絡は、マイクロ波回線を利用した専用電話で行われる。

導波管加圧装置は、水分によるマイクロ波の減衰を低減するため、シリカゲルで吸湿した乾燥空気導波管内部を満たす³⁾。空気の状態は、気圧計と湿度計で常時モニターされる。通常、導波管の充填気体には窒素ガスを用いるが、脊振山気象レーダーではボンベの運搬や窒素の補充に多大な労力を要するため、乾燥空気を採用した³⁾。

レーダー送受信機や指示器、レーダーリレー用通信機には安定化された交流電源が不可欠である。当時の商用電源は電圧変動が大きく、レーダー観測所では三相220V 容量5kVA、福岡管区気象台では三相220V 3kVAの自動電圧調整器を設置した³⁾。なお、開設当初の1号機には停電対策用の予備電源は設置されていない。

昭和32年9月14日、脊振山気象無線中継所が開設された⁷⁾。福岡管区気象台、長崎県対馬の厳原測候所、福岡県の田川気象通報所と久留米気象通報所を結ぶVHF無線電話の中継局で、1号機の周辺に複数のVHFアンテナと予備電源室が配置され¹⁰¹⁾、観測局舎内にはVHF中継装置が設置された¹⁰²⁾。

昭和34年3月、脊振山気象レーダーに予備電源(3kVA発動発電機)が新設された⁷⁾。発動発電機は、VHF中継局開局時に建設された予備電源室に設置されたと考えられる。

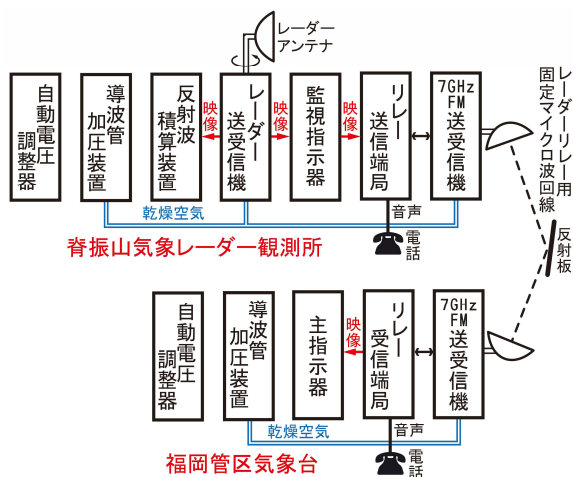


図6 気象レーダー1号機の機器系統図
(矢島幸雄著「レーダー取扱の実験」の図に加筆)

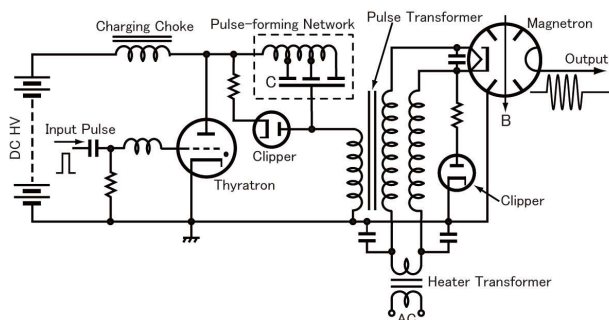


図7 線路式変調型レーダーパルス生成回路

4.6 レーダー送受信機

レーダー送受信機は、変調部、立体回路部、中間周波増幅部、自動周波数制御部、電源部で構成される。図7は線路式変調型のレーダーパルス生成回路で¹⁰³⁻¹⁰⁵⁾、1号機も同様の回路を採用したと推定される³⁾。パルス形成回路(集中定数による疑似線路)のコンデンサCは、5kVの直流高圧電源から充電コイルによる共振充電法で最大10kVまで充電される。ブロッキング発振器で発生させた入力パルス(繰返周波数400Hz)を水素入り熱陰極サイラトロン(5C22)¹⁰⁶⁾のグリッドに加えるとサイラトロンが放電し、Cの放電電流がパルストランスの一次巻線に流れる。この時、パルス形成回路の遅延作用によってパルス幅は1μsに拡大され、パルストランスで昇圧された20kVがマグネトロン(東芝製7836)のカソードに印加される。クリッパ回路は、負荷との不整合で生じるスパイク状の逆電圧を吸収し、サイラトロンやマグネトロンの誤動作を防止している。

7836は、東芝が世界に先駆けて開発した5GHz帯用空冷高出力マグネトロンである³⁾。アノードは12分割のhole and slot型で、πモード振動を安定させる一重均圧環(single strap)が装着されている¹⁰³⁾。外部磁石型で、アノードブロックを含む30mmの間隙に3kGの磁界を印加している。永久磁石には、東芝製TY磁石(アルニコ磁石)¹⁰⁷⁾が使用された³⁾。

図8はレーダー送受信機の立体回路部である^{3,103,108)}。切替放電管のTR管(transmit-receive tube)とATR管(anti transmit-

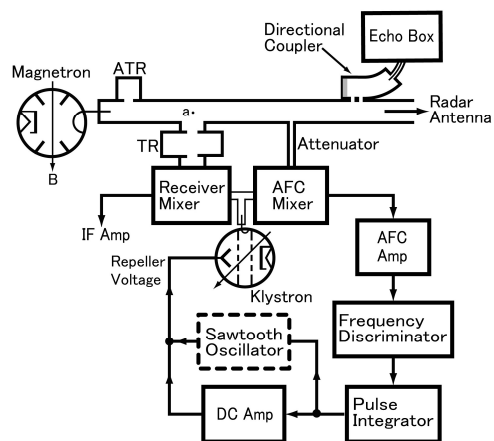


図8 気象レーダー1号機の立体回路部とAFC回路
(東芝レビュー「気象用レーダ及びレーダリレー装置」の図を修正し加筆)

receive tube)は、マグネトロンが発射するレーダーパルスの高電界でグロー放電を生じ、挿入箇所の変波管を短絡する。結果、送信パルスはATR管とTR管のある分岐路に進入せず、直接アンテナに給電される。マグネトロンが停止すると切替放電管のグロー放電も停止し、ATR管のトラップ作用によって導波管はa点から左側が開放状態となり、アンテナで受信したエコー信号はTR管を通して受信回路に入力される。1号機では、広帯域の帯域通過型TR管が用いられた^{3,103)}。

受信回路はヘテロダイン検波式で、中間周波数30MHz、中間周波帯域幅4MHz、中間周波利得115dBであった³⁾。マグネトロンの発振周波数は電源や負荷の状態によって変動するため、局部発振器(クライストロン)の周波数を追従させるAFC(automatic frequency control)を採用した¹⁰⁸⁾。図8に示すように、マグネトロンの出力をAFC混合器で周波数変換し、周波数弁別回路FD(frequency discriminator)で中間周波数からのずれ Δf を検出する。FDの出力パルスを積分した直流電圧でクライストロンのリペラー電圧を制御し、 Δf が最小となるように発振周波数を調整する。マグネトロンの始動時は Δf がFDの許容値を超えるため、リペラーに鋸歯状波電圧を加えてクライストロンの発振周波数を掃引し、FD出力が現れた時点で鋸歯状波発振器から直流増幅器に切り換えてAFCを開始する¹⁰⁸⁾。1号機は、局部発振器に空洞内蔵型の反射型クライストロン(6115)¹⁰⁹⁾、受信混合器とAFC混合器にSi点接触型ミキサードイオード(1N23B)¹⁰⁶⁾を用いている³⁾。

受信混合器でヘテロダイン検波されたエコー信号は、中間周波増幅器に送られる。ここでは、強力な近距離エコーに対しては利得を下げ、往復時間の長い遠距離エコーで利得を最大にするSTC(sensitive time control)を行っている^{3,106)}。実際は、弛張発振器の出力波形(負の指数関数)で中間周波増幅管のグリッドバイアスの深さを変えて、時間と共に利得を上昇させる。

受信回路では、中間周波増幅後にGe点接触型ダイオード(1N34A)¹⁰⁶⁾で第2検波を行い、得られた映像信号を指示器に送る。この時、直線検波と対数検波を選択する³⁾。後者は変化の大きいエコー信号を圧縮し、降水量に関係するエコー強度(dB値)を出力する¹¹⁰⁾。実際の対数検波回路では、同一の増

幅度を持つ中間周波増幅器をカスケード接続し、格段の出力を分岐して包絡線検波を行い、遅延回路網を介して各検波出力を重量(加算)して対数特性を得ている^{3,110)}。

図8に示すように、レーダーアンテナへ向かう送信電力の一部は、方向性結合器を介して脱着式のエコーボックスに入力される³⁾。エコーボックスは空洞共振器の一種で、蓄積されたエネルギーはレーダーパルス終了

後に受信回路に導かれ、擬似エコー信号となる。その減衰特性からレーダーの総合性能を測ることができる¹⁰⁸⁾。

写真9の右側の筐体は、1号機のレーダー送受信機である。中央部には、アルニコ磁石の鋼塊に囲まれたマグネトロンと空冷用のシロッコファンが見える。マグネトロンの右下に変調用のサイラトロン、上部には立体回路とアンテナへ向かう導波管が写っている。左側の筐体は、レーダーリレー用7GHz帯FM送受信機である。

4.7 指示器

写真10は、レーダー観測所に設置された1号機の監視指示器である。PPI表示用のCRTは、東芝製レーダー用電磁収束電磁偏向型残光性ブラウン管(12PS7)で、蛍光面の直径は12 in、蛍光色は「青」、残光は「特に長い黄色」であった^{3,111)}。エコー画像を35mmフィルムカメラで接写する際に⁹⁹⁾、観測条件をネガに記録するため、CRTの左にレーダーアンテナの仰角を表示する指針付セルシン受信機や距離範囲表示灯、受信特性表示灯、照明付の時計と日付パネルを配置している³⁾。CRT下部のパネルには、仰角制御や指示範囲の選択、映像信号の輝度調整等のツマミが並んでいる。福岡管区气象台に設置された主指示器は、レーダーアンテナやレーダー送受信機の制御部分はないが、CRTの規格や外観はレーダー観測所の監視指示器と同一である³⁾。

CRTと周辺装置を図9に示す^{3,100,108,110)}。CRTには、電子ビーム集束用の集束コイルやビーム掃引用の偏向コイル、掃引原点移動用のオフセンターコイルが装着されている。付属回路では、レーダー送信のトリガーパルスに同期して、掃引、輝度ゲート、距離目盛の各信号が生成される。

アンテナ走査部に取付けた二相セルシン発信機からの方

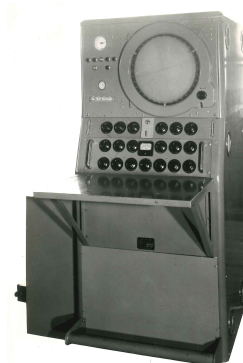


写真10 気象レーダー1号機用監視指示器
(福岡管区气象台提供)

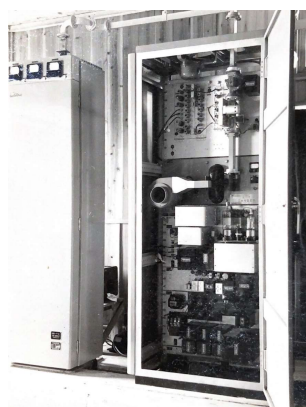


写真9 気象レーダー1号機用レーダー送受信機
(福岡管区气象台提供)

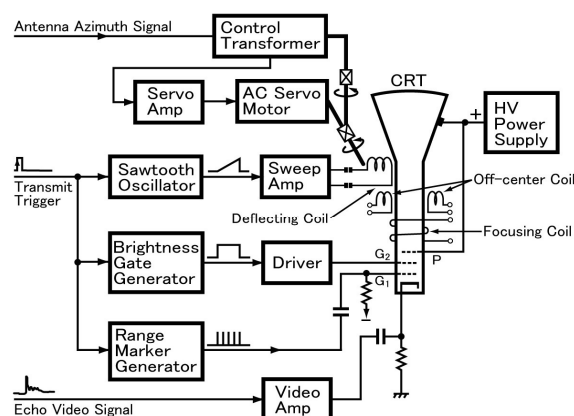


図9 可動コイル式PPI表示装置

位角信号は、制御変圧器(control transformer)の励磁巻線に加えられ、制御変圧器の回転子は偏向コイル駆動用の二相サーボモーターの回転子と機械的に結合されている。また、制御変圧器の出力電圧はサーボ増幅器で電力増幅され、サーボモーターの制御巻線に供給される。結果、偏向コイルはレーダーアンテナの回転に同期してCRTの管軸周りを回転する。回転する偏向コイルにスリップリングを介して鋸歯状波の掃引同期信号を加えると、掃引原点から半径方向に掃引輝線が現れ、時計方向に回転する。

CRTの第2グリッドに加える輝度ゲート信号は、掃引時のみ輝線が現れ、帰線部で電子ビームをカットする輝線制御(unblanking)を行う。距離目盛信号は、CRTの第1グリッドに印加され、掃引輝線の輝度変調によって距離に応じた同心円を管面上に描く。レーダー送受信機からの映像信号は、映像増幅器で反転増幅後にCRTのカソードに印加され、距離目盛信号と同様にビーム電流を変調する。

レーダー画像の一部を拡大する際は、掃引原点をCRTの管面中央から移動させる。オフセンターコイルは直交配置した一対の偏向コイルで、コイルに流す直流電流の極性と大きさを変えて、電子ビームの偏向量にXY方向のオフセットを与える。

4.8 反射波積算装置

図6の反射波積算装置(雨量積算装置)は、任意区域、任意時間の総降雨量を計算するアナログ電子計算機¹⁰⁸⁾、レーダー送受信機から送信トリガーと対数検波されたエコー信号、指示器からPPI表示用の掃引同期、距離目盛、方位角の各信号が供給される⁹⁰⁾。対数特性のエコー信号 $\log I$ と距離目盛信号から生成した対数特性の距離信号 $\log r$ から、加算回路と逆 \log 変換回路を用いて、雨の強さ I と距離 r の積を求める。

次に、 $I \times r$ を面積と時間で積分して総雨量 M を計算する¹⁰⁸⁾。内蔵の小型CRTでPPI表示を行い、雨量を求める範囲に窓を開けたマスクを準備してCRTを覆う。輝線の動きでCRTを一樣に光らせ、窓を通過した光を光電管で検出して積算区域を電気的に選択する。 $I \times r$ の積分値は電圧に比例したパルス数に変換され、計数回路でカウントして数値表示される。

反射波積算装置は大阪レーダーに初めて導入され、気象研究所や気象庁のレーダーにも順次装備された^{88,112)}。脊振山気象レーダーには日本無線製の反射波積算装置が納入され⁹⁰⁾、昭和34年に制作された1号機の記録映画¹⁰²⁾にも写っている。しかし、高山の手狭な観測局舎で複雑な雨量解析装置の継続的な運用が可能であったのか疑問が残る。

4.9 レーダーリレー用マイクロ波回線

図10はレーダーリレー用固定マイクロ波回線^{3,113)}で、図中の脊振山局と福岡局はレーダーリレー端局である。写真8に示すように、脊振山局ではレーダー用アンテナ鉄塔の中段に直径3mのパラボラアンテナを設置した。福岡局では、福岡管区気象台の庁舎屋上に建てた鉄塔に、直径1.8mのパラボラを取り付けた。修猷館高校の校舎屋上に設置した無給電中継用の反射板は、縦3m×横4mの長方形で表面をアルマイト処理したアルミ板(反射率80%)が使用された。

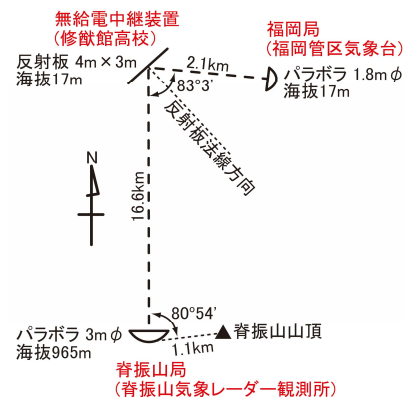


図10 気象レーダー1号機のレーダーリレー用固定マイクロ波回線

(東芝レビュー「気象用レーダ及びレーダリレー装置」の図を修正・加筆)

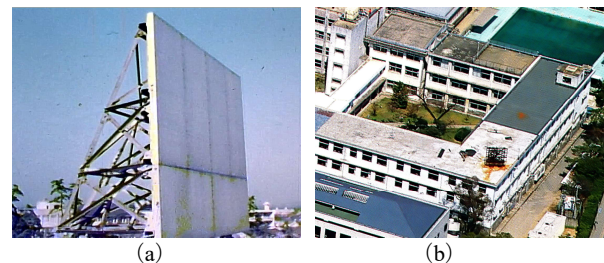


写真11 気象レーダー1号機のレーダーリレー用反射板

- (a)修猷館高校校舎屋上の中継用反射板
(記録映画「脊振山気象レーダー」より、福岡管区気象台提供)
(b)廃止された反射板の支持枠(昭和60年頃)
(「修猷館二百年史」より、福岡県立修猷館高校提供)

写真11(a)は脊振山気象レーダーの記録映画¹⁰²⁾の1シーンで、反射板の構造がよく分かる。強風に耐えるため、山形鋼を組み合わせた強固な支持枠に12枚のアルミ板を貼っている。修猷館高校に設置した反射板は、昭和44年10月のレーダーリレー更新時に廃止された。写真11(b)は昭和60年頃に撮影された空撮写真¹¹⁴⁾で、校舎の屋上に役目を終えた反射板の支持枠が遺されている。

4.10 マイクロ波FM多重通信

1号機で使用したレーダーリレー用マイクロ波多重通信の仕様を表3に示す³⁾。7GHz帯の2波を用いたFM多重通信¹¹⁵⁾で、専用電話の音声信号を二重FM変調で伝送する福岡局の送信出力は、脊振山局の1割程度である。脊振山局のリレー送信端局で合成される多重信号の波形を図11(a)に、周波数スペクトルを図11(b)に示す³⁾。多重信号の繰返周波数は、レーダーパルスや掃引同期信号と同じ400Hzである。エコー強度を反映した映像信号は、伝送時間2,000μs、停止500μsの時分割方式で伝送される。専用電話の音声信号は、400Hz以上の高音域が通話の明瞭度を左右するため、2.3MHzの副搬送波をFM変調している。

方位角信号($\sin\delta, \cos\delta$)、仰角信号($\sin\phi, \cos\phi$)、基準周波数信号(f_0)の周波数は商用電源と同じ60Hzで、位相関係を損なわずに各信号の波形を伝送するため、繰返周波数400Hzの

表3 脊振山気象レーダー1号機におけるレーダーリレー用マイクロ波FM多重通信の仕様

送信周波数	(脊振山局)	6860MHz
	(福岡局)	6700MHz
送信電力	(脊振山局)	0.7W
	(福岡局)	0.07W
変調方式	(映像信号)	FM
	(掃引同期信号)	FM
	(方位角信号)	PPM-FM
	(仰角信号)	PPM-FM
	(基準周波数信号)	PPM-FM
	(音声信号)	FM-FM
多重信号繰返周波数		400Hz
映像伝送帯域		300Hz~1.8MHz
音声伝送帯域		300~2700Hz
音声用副搬送波周波数		2.3MHz
受信機中間周波数		50MHz
受信機中間周波帯幅		8MHz

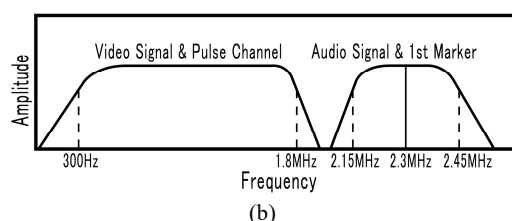
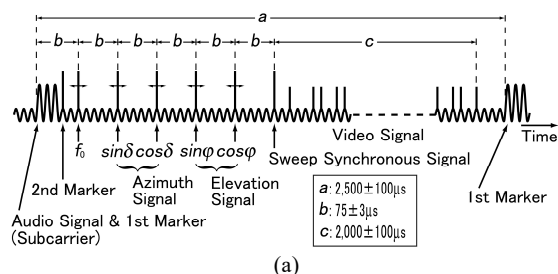


図11 レーダーリレー用多重信号 (a)信号波形, (b)周波数スペクトル

(東芝レビュー「気象用レーダ及びレーダリレー装置」の図を修正し加筆)

パルス位置変調(PPM)が採用された。特に、 f_0 は二相セルシンによる角度伝達の基準となる交流電源の位相を表し、監視指示器と主指示器のPPI表示を一致させる役割を担う。

レーダー観測所と福岡管区気象台は配電系統が異なるため、商用電源に位相差が生じている。また、観測所で配電線の停電が発生し予備電源に切り換えた場合は、気象台の交流電源との位相差は更に拡大する。そこで、観測所の電源周波数 f_0 を気象台に伝送して電力増幅を行い、観測所と位相同期した交流電源を準備して、主指示器に搭載した仰角表示用のセルシン受信機や、CRTの掃引コイルを駆動するサーボモーターの励磁巻線に供給している。

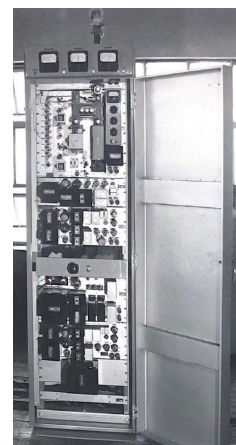
福岡局のリレー受信端局では、図11(a)に示す第1マーカと第2マーカを検出し、多重信号を分離するための同期パルスを生成する。第1マーカは副搬送波をFM変調した音声信号の立ち上がりを利用しており、帯域フィルターを通すことで映像信号と容易に区別できる。第2マーカはパルスチャンネル内の単一パルスで、2つのマーカを用いることでジッタのない同期パルスが得られる。

4.1.1 レーダーリレー用FM送受信機

脊振山局と福岡局に設置されたレーダーリレー用7GHz帯FM送受信機は、使用する真空管や送信出力に違いはあるが基本構造は同一である。写真12は、脊振山局に設置されたFM送受信機である。筐体頂部から延びる導波管の根本には、H字形の立体回路が接続されている。マイクロ波立体回路の詳細を図12に示す^{3,116)}。送信管は空洞内蔵型の反射型クライストロン(脊振山局はX-26D, 福岡局は2K26)で、変調管でリペラー電圧を変化させ、FM変調されたマイクロ波を発振する。

アイソレーターはフェライトの磁気ファラデー効果を応用した非相反素子¹¹⁷⁾で、負荷の不整合による反射波から発振器を保護し、長い伝送路に接続したマグネトロン¹¹⁸⁾の動作が不安定となるlong line効果を防ぐために挿入したと考えられる。東芝は、単流導波管(ユニガイド)として昭和30年に商品化している¹¹⁹⁾。アイソレーターを通過した送信波は、送信フィルター(送信周波数に同調した矩形導波管共振器)¹¹⁶⁾を通り、空洞周波数計¹²⁰⁾で周波数と送信出力をモニターされて、給電用導波管でアンテナに送られる。

アンテナからの受信波は、帯域通過型の受信フィルター(中心周波数を相手局の送信周波数に調整)を通過する。AFC制御された局部発振用クライストロン(2K26)の出力は、可変抵抗減衰器と矩形導波管共振器を通過する。受信波は、ミキサダイオード(1N23B)でヘテロダイン検波されて50MHzの中間周波数に変換される。カスケード接続された中間周波増幅器(帯域幅8MHz)の出力は周波数弁別回路でFM復調され、脊振山局では副搬送波をFM変調した音声信号、福岡局では映像信号を含む多重信号(図11(a)参照)を取り出す。

写真12
レーダーリレー用
7GHz帯FM送受信機
(福岡管区気象台提供)

5. 気象レーダー1号機の運用

5.1 気象援助局と気象通信用固定局

脊振山気象レーダー観測所の建設工事は昭和30年4月に開始され、脊振山九六〇高地ではアンテナ鉄塔と観測局舎の建

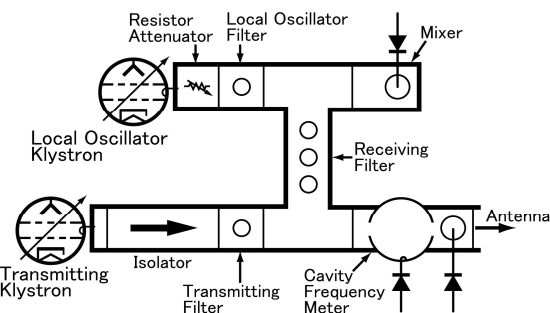
図12 レーダーリレー用7GHz帯FM送受信機の立体回路
(東芝レビュー「気象用レーダ及びレーダリレー装置」の図を修正し加筆)

表4 脊振山気象レーダーと脊振山気象無線中継所の実用無線局免許

無線設備	無線局種別	設置場所	呼出名称	電波形式	周波数 [MHz]	帯域幅 [MHz]	送信電力	免許交付日
脊振山気象レーダー1号機	気象援助局	佐賀県神埼郡脊振村大字服巻字脊振山		P0	5300	1	300kW	
レーダーリレー端局(脊振山局)	固定局	〃	きしょうせぶり	F9	6860	9.9	1W	昭31年8月31日
レーダーリレー端局(福岡局)	〃	福岡県福岡市大名町223の26	きしょうふくおか	F9	6700	1.1	0.1W	
脊振山気象無線中継所	〃	佐賀県神埼郡脊振村大字服巻字脊振山	きしょうせぶりやま	F3	63.05		50W	昭32年9月12日

設や配電線の架設、福岡管区気象台ではアンテナ鉄塔の取付、修猷館高校では反射板の設置が行われた³⁾。同年7月下旬、東芝の工場で全装置の総合試験と立会試験が終了し、8月初旬からレーダー機器とレーダーリレー装置の搬入と据付工事が開始された。

昭和30年8月31日、脊振山気象レーダー1号機は実用化試

験局(気象援助局)、レーダーリレー端局は実用化試験局(固定局)となり¹²¹⁾、運用が開始された。但し、1号機に許可された送信尖頭電力は200kWで、設計値の2/3に留まっていた。運用開始から1年後、1号機と2ヶ所のレーダーリレー端局は実用無線局となり、1号機の送信尖頭電力は300kWに引き上げられた¹²²⁾。無線局免許の詳細を表4に示す^{122,123)}。レーダーリレー端局では、FM多重信号を送信する脊振山局の占有帯域幅は9.9MHzで、音声信号のみを伝送する福岡局の9倍となっている。なお、昭和36年6月1日の電波法施行規則改正¹²⁴⁾により、レーダーのみを使用する気象援助局は無線標定陸上局に種別変更された。

先述のように、脊振山気象無線中継所は観測局舎内にVHF中継装置を設置しており、中継装置に付属する送受話器(60MHz帯のFM無線電話)で、福岡管区気象台や管内の測候所・気象通報所との連絡が可能であった¹²⁵⁾。

脊振山気象レーダーの沿革を表5に示す^{7,126)}。レーダー観測所では、開設直後から毎朝9時に降水量、気温、最高気温、最低気温、天気、風向、風力などを観測する甲種気象観測¹²⁷⁾を実施している。観測結果は、レーダーリレー用回線の専用電話やVHF無線電話で福岡管区気象台に通報したと考えられる。

5.2 観測体制と観測業務

木造の観測局舎には畳敷きの和室2部屋と板張りの機械室があり、窓は二重ガラスであった⁹⁵⁾。避雷のため、銅板葺きの屋根の数ヶ所から太いアース線が地面に下ろされていた。当直者は2名で勤務は1週間交替である。炊飯や調理は電気で行い、電気冷蔵庫や白黒テレビも完備していた^{95,102)}。風呂は五右衛門風呂である。当初、飲料水は天水であったが、米ソの核爆発実験による放射能汚染が問題となり^{128,129)}、観測所から約100m下った谷に設置した水槌ポンプ(水撃作用を用いた自動揚水ポンプ)で沢水を汲み上げ、濾過後に貯水する方式に変更された¹³⁰⁾。

初期のエコーの観測では、指示器の画面を見ながら地図と距離円が印刷された観測原簿に色鉛筆で写生する方法が採られた⁹⁵⁾。35mmフィルムカメラでの接写や16mmシネカメラでの連続撮影も行われ、局舎内にはフィルムの現像や印画紙へのプリントを行う暗室設備が整っていた。

定時のレーダー観測は1日4回行われ、結果は福岡管区気象台宛の気象通報(通称：レーダー電報)として、レーダーリレー用回線に付随する専用電話やVHF無線電話で伝送された^{95,102)}。気象通報式は、欧文形式と福岡管区気象台独自の和文形式を使用した⁹⁵⁾。昭和36年8月に和文形式が廃止され、数字文形式による国内気象通報式に変更された⁷⁾。

表5 脊振山気象レーダー(福岡レーダー)の沿革
(福岡管区気象台作成「レーダーの沿革」を修正し加筆)

年	月日	脊振山気象レーダーおよび関連事項
1955(昭30)	8.31	郵政省、実用化試験局の免許交付 1号機、レーダーリレー運用開始
	10.1	レーダー観測所で甲種気象観測開始
1956(昭31)	8.31	郵政省、実用無線局の免許交付
1957(昭32)	9.14	脊振山気象無線中継所開設、予備電源室設置
1959(昭34)	3.-	予備電源(15kVA発動発電機)新設
1960(昭35)	6.-	観測所局舎建替(鉄筋コンクリート2階建て)
1962(昭37)	9.27	脊振山無線中継所、中継設備増設
1965(昭40)	7.5	福岡管区気象台と脊振山・温泉岳・霧島の中継所を結ぶUHF多重回線開通
1969(昭44)	9.-	観測所局舎増設(3階建て) 脊振山気象庁専用道路開通、自動車通行可能 予備電源(35kVA発動発電機)増設
	10.8	レーダー更新(2号機)、レーダーリレー更新 中継用反射板を福岡市西区の浦山に移設
1972(昭47)	3.1	レーダー情報伝送網運用開始
	10.31	福岡管区気象台に模写伝送送信装置設置 甲種気象観測廃止
1981(昭56)	5.-	予備電源用軽油貯蔵タンク増設、総容量10kℓ
	12.8	脊振山気象庁専用道路全面アスファルト舗装
1982(昭57)	3.26	レーダー更新(3号機)、エコー画像デジタル化 レーダーリレー更新(周波数2GHz帯に変更) 福岡管区気象台、カラーディスプレイ設置
	3.26	福岡管区気象台からNHK福岡放送局等にレーダー画像分送開始
1983(昭58)	8.1	レーダー画像を佐賀・長崎・熊本の地方気象台にVHF帯で伝送開始
	5.-	レーダー画像を下関気象台に伝送開始
1985(昭60)	9.-	レーダー画像を大分気象台に伝送開始
1987(昭62)	4.1	福岡レーダー、デジタル化装置更新
	6.1	福岡・種子島レーダー間情報伝送網廃止 福岡・広島レーダーのエコー合成画像のVHF帯による伝送実験開始
1988(昭63)	6.15	福岡・種子島・広島レーダーのエコー合成画像のVHF帯による伝送実験開始
1997(平9)	3.31	遠隔操作機能付デジタル化装置設置、 レーダー遠隔制御開始
	4.1	観測所無人化
1999(平11)	3.3	レーダーリレー更新
2000(平12)	3.1	福岡・種子島・名瀬レーダー、福岡管区気象台より管区集約型遠隔運用開始
2001(平13)	11.29	レーダー更新(4号機)
2007(平19)	11.15	レーダー更新(5号機)、ドップラー化
2013(平25)	12.20	レーダーリレーから光回線による有線伝送に変更
2020(令2)	11.-	観測所局舎建替(3階建て)
	11.27	5号機運用終了
2021(令3)	1.14	レーダー更新(6号機)、二重偏波化

5.3 頻発する機器の故障と保守作業

1号機のレーダー送受信機や監視指示器、レーダーリレー装置に使用された真空管は200本を超え、抵抗やコンデンサ等の受動部品は数千個に及んでいた¹³¹⁾。機器の故障は、運用開始直後から頻発した⁹⁵⁾。特に受動部品の品質が劣悪で、運用開始から約2年で殆どの部品を交換した。レーダー送受信機のAFCも動作が不安定で、PPI表示の方位が20〜30°傾くことは日常茶飯事であった。故障箇所の探索は困難を極めたが、取扱説明書以外に参考書はなかった⁹⁵⁾。真空管のソケットやスイッチ類の接触不良も多く、配線孔内の電線がネズミの食害で断線したケースもあった¹³¹⁾。

機械部品の故障では、パラボラアンテナを回転させる主軸のベアリングが摩耗して、観測に大きな支障を生じた¹³¹⁾。主軸の偏心運動で駆動用電動機の減速ギアや方位角を検出するセルシン発信機用のギアが破損し、円形導波管の揺れでレーダー感度も変動した。冬期には、侵入した雨水が凍結して主軸の回転を妨げ、低温で減速ギアのグリスが硬化してアンテナの回転が止まることもあった¹³¹⁾。極寒の中でパラボラアンテナに付着した霧水を落とす作業も、困難を極めたと言う¹²⁸⁾。

5.4 台風の襲来と諫早豪雨

運用開始直後の昭和30年9月、1号機は初の台風観測に臨んだ。9月29日深夜に薩摩半島に上陸した台風22号は、上陸時の中心気圧945hPa、最大風速50m/s、風速25m/s以上の暴風域は半径300kmに及んだ¹³²⁾。その後は九州を縦断し、30日の7時頃に福岡市北東で日本海に抜けている。脊振山のレーダー観測所は、29日早朝から台風の連続観測と福岡管区气象台への映像伝送を開始し、刻々と変化するエコー画像を100枚以上の写真に収めた¹³³⁾。福岡管区气象台のレーダー室は气象台職員の出入りが激しく、新聞社・放送局の記者やカメラマンも殺到して異様な熱気に包まれたという。

昭和32年7月25〜26日に発生した諫早豪雨では、梅雨前線の活発化による大雨で長崎県諫早市の本明川が氾濫し、住宅が密集する市街地を濁流が襲った^{134,135)}。周辺地域でも河川の氾濫や土砂崩れが頻発し、長崎県内だけで783名の死者・行方不明者が出た。レーダー観測所は25日の夕方から激しい雷雨に襲われ、落雷によりレーダー送受信機の変調部が数度に亘って焼損した。観測員は深夜まで修理に追われたが、撮影したエコー画像には停滞前線に沿った強雨域が明瞭に捉えられていた¹³⁵⁾。

昭和34年の台風14号は、9月15日夜に宮古島を通過して大きな被害を与えた(同島で気圧908.4hPaを記録)¹³²⁾。その後、東シナ海を北上して17日午前3時に五島列島西方沖に達し、同日夕方に日本海に抜けた。1号機は、17日朝から渦巻き状のエコーを捉え、台風の進路と雨雲の動きを連続的に通報し、気象予報に大きな役割を果たした¹²⁵⁾。レーダー観測所では、午前11時頃に風速約50m/sの暴風雨となり¹³²⁾、木造局舎の板壁が破損して床が水浸しになった¹²⁵⁾。強風は天井ごと屋根を持ち上げ、隙間から侵入した風雨が室内を荒れ狂った。激しいスパークと共にレーダーが停止し、観測員はコンクリー



写真13 脊振山気象レーダー観測所と脊振山気象無線中継所
(2号局舎増設時、福岡管区气象台提供)

トブロック造の予備電源室に避難した¹²⁵⁾。幸い1号機に大きな損傷はなく、応急手当を施して3日後に観測業務を再開した。観測局舎は、九州財務局による災害復旧の実地調査で全壊と認定され、改築が決定した¹²⁵⁾。

5.5 新局舎の建設

昭和35年6月、レーダー観測所に鉄筋コンクリート2階建ての新局舎(2号局舎)が完成した。写真13は雪化粧した脊振山九六〇高地で、導波管による損失を低減するため、新局舎はレーダー用アンテナ鉄塔に隣接している¹⁰¹⁾。旧局舎の手前には予備電源室が見える。

写真13では、脊振山気象無線中継所の複数のアンテナが確認できる。新局舎左手の無線鉄塔には、2基のVHF用グランドプレーンアンテナが縦にスタックされている。写真左奥の鉄塔にはグランドプレーンアンテナとUHF用のグリッドパラボラアンテナが各1基、新局舎屋上の鉄塔にはグリッドパラボラアンテナ1基が設置されている。無指向性のグランドプレーンアンテナは、脊振山に中継局を置く準幹線系の気象無線網(60MHz帯のFM無線電話)用で、昭和39年頃には福岡管区气象台、長崎海洋气象台、厳原測候所、久留米・田川・大村(長崎県)の気象通報所を結んでいた¹³⁶⁾。指向性のグリッドパラボラアンテナは、昭和40年7月に開通した幹線系の気象無線(300MHz帯のFM多重電話回線)用で、福岡―脊振山―温泉岳―霧島の各中継所を経由していた^{126,136)}。

新局舎の2階は機械室と観測室である¹²⁵⁾。機械室にはレーダー送受信機、レーダーリレー送受信機、VHF無線電話中継器等が配置され、導波管やケーブル類を収めたケーブルラックが機械室からアンテナ鉄塔に延びている。観測室には監視指示器が置かれ、福岡管区气象台や他の気象官署と連係してレーダー観測を行うため、レーダーリレー用回線の専用電話とVHF無線電話の両方が引き込まれている。エコー画像の写真撮影を行うため観測室には窓がなく、消灯時は現像用の暗室となる。室内の換気と除湿、指示器が発する熱を逃がすため、ルームクーラーが設置された。

1階は居住スペースで、当直者用の2つの個室にリビング・キッチン、電熱式の風呂、水洗トイレが配置された¹²⁵⁾。2階の機械室との移動は、室内のタラップか局舎外壁の階段を利用した。生活用水は、従来通り水樋ポンプで汲み上げた沢水で、貯水槽から小型の動力ポンプで蛇口に給水した。木造局

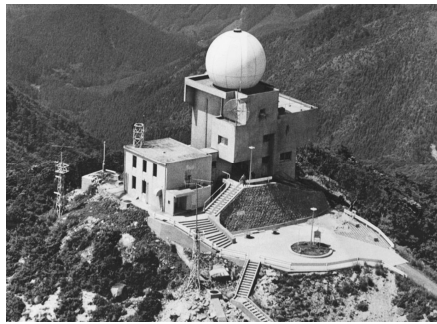


写真14 気象レーダー2号機(福岡管区气象台提供)

舎時代とは一変した快適な住環境に、脊振山山頂近くの警察無線中継所の係官も羨望しきりだったという¹²⁵⁾。

6. レーダー更新と気象災害

6.1 2号機への更新

昭和44年9月、レーダー観測所に鉄筋コンクリート3階建ての局舎(3号局舎)が増設され、同年10月8日には老朽化した1号機に替わり東芝製の2号機が運用を開始した。写真14はレーダーの換装後で、3号局舎の屋根に2号機のレドームが載っている。初代の木造局舎は撤去され、気象無線中継所のUHF帯用グリッドパラボラアンテナも移設されている。

歴代レーダーの諸元を表6に示す。2号機は送信尖頭出力が250kWに下がり、PPI・RHI・Aスコープの表示が可能な指示器と等エコー装置が設置された¹³⁷⁾。降水エコーは、不規則に配列した多数の降水粒子による反射波の合成で変動が大きく、距離の自乗に反比例して減衰する。等エコー装置は、エコー信号に距離減衰補正と平均化処理を施し、降雨強度の定量的な判定を可能にした¹³⁸⁾。

2号機ではレーダーリレー装置も更新された(表5参照)。修猷館高校に設置した反射板は廃止され、福岡管区气象台から西南西に8.1km離れた福岡市西区の浦山(標高188.3m)に横6m×縦6mの反射板が新設された。气象台や修猷館高校の周辺に高い建物が増えたため、中継ルートの変更が必要になったと推測される。

6.2 レーダー観測のデジタル化と長崎大水害

脊振山気象レーダー観測所では、昭和56年年度にレーダーとレーダーリレーが更新され、昭和57年3月26日に日本無線製の3号機が運用を開始した。3号機はレーダー送受信機のマグネトロンやサイラトロン、主指示器のCRTを除いて、半導体素子により固体化された¹³⁹⁾。送信尖頭出力は250kW、パルス幅2.5μs、ビーム幅1.7°以下、パルス繰返周波数260Hzで、

直径3.0mのレーダー用パラボラアンテナは水平方向に毎分最大6回転、垂直方向(仰角0°～30°)に毎分6回の自動走査(ヘリカルスキャン)を行った。手動操作による任意の方位角と仰角(-2°～45°)での停止も可能であった。

レーダー送受信機からの映像信号はデジタル化され、等エコー装置では距離減衰補正や平均化処理、グランドクラッタ(山岳や丘陵からのエコー)の除去等をデジタル演算で実行した¹³⁹⁾。主指示器はレーダー観測所に設置され、PPI表示ではエコー画像と半導体メモリ(ROM)に記憶した地形図を同時に表示できた。

レーダーリレーも、2GHz帯のデジタル変調方式に変更された¹³⁹⁾。リレー送信端局では、PPI表示を極座標から直角座標に変換し、これに方位角や仰角、日時等の文字情報を加えてパルス符号変調(PCM)を行う。専用電話の音声もPCM化され、時分割多重化したデジタル信号を生成する。多重化されたデジタル信号は、リレー送受信機で四相位相偏移変調(QPSK)を行って福岡管区气象台に伝送された。送信周波数は、脊振山局→福岡局が1893MHz、福岡局→脊振山局が2023MHzであった。气象台で復調された映像信号は、予報現業室に置かれた副指示器のカラーディスプレイで表示された。降水エコーの強度階級別分布の表示や、ビデオテープへの録画も可能であった。

昭和57年7月23日、299名の死者・行方不明者を出した長崎大水害が発生した¹⁴⁰⁾。運用開始4ヶ月の3号機は、高さ16kmに達する雨雲が活発に動きながら長崎県南部に移動する様子を捉え、画像を長崎海洋气象台に送り続けた¹⁴¹⁾。

3号機では、平成3年3月に遠隔操作機能付のデジタル機器が稼働を始め、同年4月1日にレーダー観測所は無人工化された。平成11年3月にはレーダーリレー装置が更新され、運用開始から19年8ヶ月が経過した3号機も、平成13年の台風シーズン終了後に更新された。平成13年11月29日、日本無線製の4号機が運用を開始した。

6.3 竜巻災害と気象ドップラーレーダーの導入

平成18年9月17日、宮崎県延岡市で竜巻が発生し、約1,300棟の建物が損壊して死者3名、負傷者143名の被害が出た¹⁴²⁾。この竜巻では、日豊本線南延岡駅構内で非常停止したJR九州の特急列車が脱線転覆した¹⁴³⁾。同年11月7日には北海道常呂郡佐呂間町で竜巻が発生し、住宅18棟が全半壊して死者9名、負傷者29名の被害が出ている¹⁴²⁾。

突風災害への社会的関心が高まり、内閣府に設置された「竜巻等突風対策検討会」は竜巻の監視や予測能力が高い気象ドップラーレーダーの整備を加速することを決定した¹⁴⁴⁾。

表6 脊振山気象レーダーの諸元 (福岡管区气象台作成「レーダー諸元」に加筆)

	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機
運用開始日	1955(昭30)年 8月31日	1969(昭44)年 10月8日	1982(昭57)年 3月26日	2001(平13)年 11月29日	2007(平19)年 11月15日	2021(令3)年 1月14日
製造者	東京芝浦電気	東京芝浦電気	日本無線	日本無線	日本無線	三菱電機
中心周波数[MHz]	5300	5300	5300	5300	5355	5365
送信尖頭電力[kW]	300	250	250	250	250	6
発振管	マグネトロン	マグネトロン	マグネトロン	マグネトロン	クライストロン	固体化素子
特記事項		等エコー装置 導入	エコー画像 デジタル化		ドップラー化	二重偏波化、 パルス圧縮

気象庁は、平成18年度の補正予算で釧路・函館・松江・福岡・種子島の各レーダーを気象ドップラーレーダーに置き換える計画を推進した¹⁴⁵⁾。

気象ドップラーレーダーは、ドップラー効果による反射波の周波数偏移から、降水粒子の相対的な移動速度と変位を観測する。航空機事故の原因となるマイクロバースト等の低層ウィンドシアア(地上付近での風向や風速の急変)を検出するため、日本では平成7年9月の関西国際空港を皮切りに空港気象レーダーのドップラー化が進んだ¹⁴⁶⁾。一方、一般気象レーダーは降水の分布と強度の観測が主目的でドップラー化が遅れていた⁸⁹⁾。平成18年3月、東京レーダー(千葉県柏市)が気象ドップラーレーダーに換装され、名古屋・仙台・新潟の各レーダーが追従した¹⁴⁷⁾。

平成19年11月15日、脊振山気象レーダー観測所で日本無線製の気象ドップラーレーダー(5号機)が運用を開始した。表6に示すように、本機では送信管がマグネトロンからクライストロンに変更された。発振と電力増幅を兼ねるマグネトロンは周波数安定度が低く、安定した位相情報が必要なドップラー信号処理には不向きである¹⁴⁸⁾。また、5GHz帯を無線LANと共用するCバンド気象レーダーに対し、スプリアスレベルの更なる低減が求められていた¹⁴⁹⁾。そこで、基準信号を元に生成した種信号をクライストロンで電力増幅する方式が採用された。

5号機では、送受信の切替を行う立体回路も固体化され、予備放電用のβ線源(⁶⁰Co,²⁴¹Am等の放射性同位元素)が必要なTR管やATR管に替えて、非相反素子のラッチングサーキューレーターを3段直列で使用した¹⁴⁸⁾。本素子は、パルス状の磁界を印加してフェライトを磁化反転させ、ファラデー効果を応用した伝送方向の切替を行う^{117,150)}。レーダーの中心周波数は5355MHzに変更され、送信パルスは近距離用のショートパルス(パルス幅1.0μs)と遠距離用のロングパルス(パルス幅2.5μs)の2種類で、ビーム幅は1.2°以下、パラボラアンテナの直径は4.0mであった¹⁴⁸⁾。平成25年12月にマイクロ波回線によるレーダーリレーが廃止され、光ファイバ回線による有線通信に変更されている。

写真15は令和元年5月に撮影した5号機で、局舎とレドーム、予備電源室の配置は2号機への換装時と変わっていない。

6.4 豪雨災害と二重偏波気象ドップラーレーダーの導入

平成29年7月5～6日の「平成29年7月九州北部豪雨」では、脊振山地東側で繰り返し発生した積乱雲が猛烈に発達しな

がら東に移動し、線状降水帯を形成した¹⁵¹⁾。総降水量が500ミリを超えた地域もあり、中小河川の氾濫や土砂災害が頻発して福岡大分両県で死者37名、行方不明者4名を出した¹⁵²⁾。多くの家屋が全半壊や床上浸水し、被災直後は2,000名以上が避難生活を強いられた。「令和2年7月豪雨」でも九州上空に多数の線状降水帯が発生し、球磨川水系・筑後川水系の氾濫や土砂災害により多くの人命と財産が失われた¹⁵³⁾。

令和2年9月、気象庁は線状降水帯の予測精度向上のため、二重偏波気象ドップラーレーダーを脊振山気象レーダー観測所に設置すると発表した¹⁵⁴⁾。二重偏波気象ドップラーレーダーは、水平偏波と垂直偏波を同時に放射し、各偏波の反射強度から降水粒子の大きさや形状を判別して、粒径分布によって降水強度を算定する¹⁵⁵⁾。一般気象レーダーでは、令和2年3月に東京レーダーに初めて導入された¹⁵⁴⁾。

令和3年1月14日、東京・福井・大阪レーダーに続く4基目の二重偏波気象ドップラーレーダーとして、脊振山気象レーダー6号機(三菱電機製)が運用を開始した¹⁵⁶⁾。写真1は6号機の遠景で、旧レーダーから南東に約20m離れた位置に、レドームと円筒形の機械室を載せたレーダー塔が立ち、3階建ての新局舎が密着している。パラボラアンテナの海拔高度は、5号機より50cm高い983.2mである^{149,157)}。新局舎の右に広がるモルタルで覆われた丘は旧局舎の跡地で、別棟の予備電源室も撤去された。非常用の発動発電機は、新局舎の1階に収納されている。

表6に示すように、6号機の中心周波数は5365MHzで、電力増幅部は半導体素子により固体化された。パワーモジュールに、Si基板上に形成したGa_N-HEMT(窒化ガリウム高電子移動度トランジスタ)と非対称トナメント型回路による高周波高出力増幅器¹⁵⁸⁾を使用したと推定される。また、パルス圧縮技術の採用により、送信尖頭電力を6kWに抑えている。

パルス圧縮レーダーでは、周波数を直線的に変化させる線形周波数変調(linear frequency modulation)を行った長時間パルス(チャープパルス, chirped pulse)を放射し、復調時に受信機の検波信号と送信変調信号の相互相関を取ることで、等価的にパルス内の全電力を短時間に集中させる^{159,160)}。その結果、距離分解能やS/N比を変えずに送信尖頭電力を数十分の1に抑制できる。実際の気象レーダーでは、近距離用の無変調パルス(ニアパルス, near pulse)と遠距離用のチャープパルスで構成した種信号を電力増幅して、アンテナから放射している¹⁶⁰⁾。ニアパルスとチャープパルスの受信信号は変調部に同期してAD変換され、個別に復調してエコーの強度と位相情報を含む複素信号を生成し信号処理部へ送られる。

7. 山岳気象レーダーの発展とレーダー観測網の構築

脊振山気象レーダーの運用開始によって山岳気象レーダーの威力を認識した気象庁は、昭和40年までに函館山レーダー(北海道函館市、アンテナ高度は海拔310m、昭和37年5月運用開始)、弥彦山レーダー(新潟県西蒲原郡岩室村、海拔647m、昭和37年12月運用開始)、そして大出力Sバンド気象レーダーの富士山レーダー(静岡県富士宮市、海拔3,779m、昭和39年10月運用開始)を設置した¹⁶¹⁾。その後も、松江・広島・



写真15 気象レーダー5号機(加島 篤 撮影, 令和元年5月)

石垣島と山岳気象レーダーの整備が続き、大阪・札幌の一般気象レーダーも平野部から高山に移設された¹⁴⁹⁾。

脊振山気象レーダーに導入されたレーダーリレーは、山岳気象レーダーに必須の通信システムとなり、レーダー本体と通信回線のデジタル化によって気象台からの遠隔操作が可能となり、レーダー観測所の無人化が進んだ。

福岡管区気象台の管内では、台風観測網の一環として昭和34年6月に種子島レーダー(鹿児島県熊毛郡中種子町)、同年9月に名瀬レーダー(鹿児島県名瀬市本茶峠)が運用を開始した¹⁶¹⁾。昭和47年3月、脊振山―種子島間のレーダー情報伝送網が完成した(表5参照)。地形図上に描いたエコー画像のスケッチを専用FAXと電電公社の電話回線で伝送する方式で、種子島レーダーのエコー画像を脊振山レーダーで中継して、福岡管区気象台に伝送した¹⁶²⁾。福岡管区気象台が集約した両レーダーのエコー画像は、航空路の気象予報等に有効であった。昭和57年3月に脊振山レーダーのエコー画像がデジタル化され、昭和60年以降は広島・種子島の両レーダーとのエコー合成画像が予報業務で活用された¹⁶³⁾。

8. おわりに

平成8年8月、私は名古屋駅前の映画館でJan de Bont監督の米国映画「ツイスター(Twister)」を観ていた。ストームチェイサーと呼ばれる竜巻研究者の活躍を描いた作品で、主人公たちの会話に登場する“F3”、“F2”、“Fujita Scale”という耳慣れない単語が気になった。映画のパンフレット¹⁶⁴⁾には、竜巻の強度別等級である「藤田スケール」の解説が載っていた。平成14年春、JR九州が発行する旅の情報誌⁷²⁾で、藤田哲也氏が竜巻やダウンバーストの研究で知られる著名な気象学者であり、福岡県企救郡曾根村(現・北九州市小倉南区)の出身だと知った。そして、脊振山測候所での雷雲観測が渡米の契機となったこと、長崎での原爆調査の経験が航空機事故の原因となるダウンバーストの発見に繋がったことに感動した。

平成28年5月、「ミスタートルネード」の愛称を持つ藤田氏の生涯を追ったドキュメンタリー番組が放送された¹⁶⁵⁾。日米の関係者への膨大なインタビューに、藤田氏の肉声と解説用のアニメーションを交えた素晴らしい番組だった。自身が提唱したダウンバーストの存在を、気象ドップラーレーダーを駆使した大規模な観測によって立証した藤田氏の研究姿勢に感銘を受けた。一方、番組内で流れた古いニュース映像には違和感を覚えた。運用開始直後の脊振山気象レーダーを撮影したモノクロの映像に、「1947年脊振山」、「1950年脊振山 米軍レーダー基地」の解説字幕が追加されていた。番組制作者は脊振山測候所と脊振山気象レーダー観測所を同一視し、気象レーダーの映像で米軍の軍用レーダーをイメージさせる演出を行っていた。

私は、新田次郎の小説「富士山頂」¹⁶⁶⁾や平成12年に放送されたTV番組「プロジェクトX」¹⁶⁷⁾を通じて、富士山レーダーに関心があった。同レーダーは平成11年3月に運用を終了し、翌年3月に米国電気電子学会のIEEEマイルストーンに選定された¹⁶⁸⁾。平成12年12月、私は静岡県裾野市の富士山資料館を訪れ、富士山レーダー1号機の巨大なマグネトロン(新日本

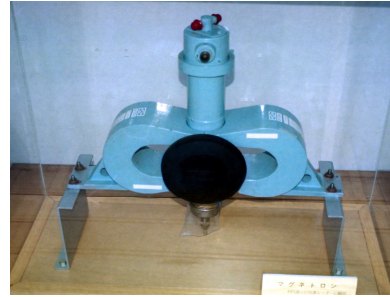


写真16 富士山レーダー1号機用マグネトロン
(裾野市立富士山資料館所蔵、加島 篤 撮影 平成12年12月)

無線製M159A)をカメラに収めた(写真16参照)。

私は迂闊にも、脊振山に気象庁のレーダーがあることを知らなかった。藤田氏のドキュメンタリー番組の後で文献を調べ、脊振山気象レーダーは日本初の山岳気象レーダーとして、富士山レーダーより9年も早く運用を開始したこと、マイクロ波回線によるレーダーリレーも日本初の試みであったことを知った。古い専門書やメーカーの技報から、1号機とレーダーリレーシステムの詳細な仕様も明らかになった。また、脊振山測候所と脊振山気象レーダー観測所は、年代的にも位置的にも別の施設であると分かった。私は、電気技術史の視座から脊振山気象レーダーが果たした歴史的役割を調べてみたいと考えるようになった。

令和元年5月、私は先輩のO先生に先導され、脊振山山頂から別峰の唐人の舞(とうじんのみまい)(標高911m)まで、赤紫色のミツバツツジを眺めながら歩いた。途中、気象庁専用道路を辿って脊振山気象レーダー観測所に立ち寄った。乳白色のレドームを載せた観測局舎の脇から博多湾を見下ろすと、レーダーリレーの障害になったという油山が遠く霞んでいた。

「ここではよく見えないが、あの油山の向こうに背振山という高い山があるのだ」。これは、明治28年に富士山頂で初の越冬観測に挑んだ野中 到・千代子夫妻を描いた小説「芙蓉の人」で、福岡城址の石垣に登った到少年が幼い千代子に語る台詞である¹⁶⁹⁾。無線電信講習所卒で富士山測候所の勤務経験を持ち、気象庁測器課長として富士山レーダーの実現に奔走した藤原寛人氏(筆名:新田次郎)は、福岡城址に近い福岡管区気象台から脊振山気象レーダーが視通不可であることを念頭に、この印象的な場面を創作したのかも知れない。

旧脊振山測候所の位置は、昭和26年に発行された「山岳気象報告」⁴³⁾が教えてくれた。私は脊振山を再訪し、脊振神社上宮の周辺で測候所の遺構を探した。「文」の文字が刻まれた境界標を確認し、「ミスタートルネードの人生を変えた雷雲観測はここで行われたのか」と独り感慨に耽った。

令和4年2月、福岡管区気象台から脊振山気象レーダー観測所の関連資料を閲覧する許可を頂いた。1号機を中心とするレーダー送受信機や指示器、マイクロ波FM送受信機、レーダー用パラボラアンテナなどの写真、歴代観測局舎の写真など貴重な資料ばかりであった。昭和34年に制作された記録映画¹⁰²⁾には、青焼きの回路図を頼りにオシロスコープで波形を調べるレーダー送受信機の保守作業や、引伸機や暗室電球を備えた簡易暗室でエコーを撮影したネガフィルムを整理

する様子が写っていた。車道からレーダー観測所まで険しい山道を歩き、炊事や洗濯、揚水ポンプの保守に迫られる観測員の姿に、山岳測候所時代と変わらぬ高山での気象観測業務の過酷さを思った。

現在、全国20ヶ所にCバンドの一般気象レーダーが配置され、内10基が二重偏波気象ドップラーレーダーである¹⁵⁷⁾。気象庁は、各レーダーのエコー画像を合成すると共に、レーダーによる推定雨量を地域気象観測システム(アメダス)の雨量計で校正し、1km四方ごとの雨量を「レーダー・アメダス解析雨量」として発表している⁸⁹⁾。また、一般気象レーダーのデータと、国土交通省が運用するXRAIN(XバンドとCバンドのマルチパラメータレーダーで構成したレーダ雨量計ネットワーク)¹⁷⁰⁾、アメダス、国土交通省と地方自治体が管理する地上雨量計等の観測データを統合して、高解像度の降水分布を予測する「高解像度降水ナウキャスト」を提供している¹⁷¹⁾。

更に、気象ドップラーレーダーのデータに大気の安定度やシアアの情報を組み合わせて竜巻の発生を予測する「竜巻発生確度ナウキャスト」や、雷監視システムによる雷放電の検知とレーダー観測を組み合わせて発雷と雷の激しさを予測する「雷ナウキャスト」も提供している¹⁷¹⁾。

近年、官学連携により線状降水帯による豪雨を予測する取り組みが加速している。予測では、二重偏波気象ドップラーレーダーやラジオゾンデ、マイクロ波放射計、アメダス、洋上の水蒸気観測等のデータを元に、スーパーコンピュータを用いたリアルタイムシミュレーションが行われる¹⁷²⁾。気象庁は、令和4年6月1日から脊振山気象レーダーの観測エリアである九州北部を対象に、線状降水帯予測を開始した¹⁷³⁾。脊振山におけるレーダー気象観測の重要性は、年を追う毎に高まっている。

航空機の安全航行を支える山岳測候所として誕生した脊振山測候所は、戦中戦後の最も困難な時代に貴重な観測記録を残した。測候所の廃止によって途絶えていた脊振山での気象観測は、エレクトロニクスの粋を集めた気象レーダーと通信回線を得て昭和30年に復活した。以後70年近く、脊振山気象レーダー観測所は豪雨や台風に対峙する“電波の眼”として、気象災害の予測と気象現象の研究に貢献し、人命と財産を守る地道な作業を継続してきた。時代の要請に合わせて機種更新を重ねた脊振山気象レーダーは、今後も九州北部における気象観測の要として存分に活躍してくれるであろう。

9. まとめ

第二次世界大戦を起点とする気象レーダーの開発史を概説した後、昭和30年に運用を開始した脊振山気象レーダー1号機の特徴を電子工学と通信工学の視点から解説した。また、初期のレーダー装置やレーダーリレーシステムが、度重なる故障や高山の厳しい環境に耐えて、九州北部の気象観測に大きな役割を果たしたことを明らかにした。更に、レーダーの機種更新では、豪雨や竜巻など異常気象に対応するため最新の観測技術が導入されたことを示した。

脊振山におけるレーダー気象観測の前史として、昭和16年に設置された脊振山測候所に着目した。福岡県における

航空気象観測の歴史や山岳測候所の役割を解説し、併せて脊振山測候所跡地の調査結果を報告した。

謝 辞

脊振山気象レーダー観測所の写真や記録映画、関連資料を御提供頂いた福岡管区气象台に感謝致します。資料閲覧の便宜を図って頂いた福岡管区气象台総務部業務課 情報利用推進官の川原慎一郎氏に深謝致します。

日本における初期の気象レーダー開発に関する資料と、脊振山気象レーダー3号機の資料を御提供頂いた日本無線株式会社と同社社史編集室の尾澤俊明氏に感謝致します。

校舎の空撮写真の使用許可を頂いた福岡県立修猷館高校と、初期の脊振山レーダー観測所の空撮写真について利用許可を頂いた朝日新聞社に感謝致します。

脊振山周辺の山歩きのガイドをお願いした北九州工業高等専門学校名誉教授の小城左臣氏に感謝致します。

参考資料

(↑アジア歴史資料センター資料)

- 1) 村制百周年記念 脊振村史, 脊振村発行(1994)
- 2) 二等三角点の記 脊振山, 国土地理院調製(2009/11/12)
- 3) 竹屋武男, 小原正典, 中原裕一, 藤井英二, 杉健次郎:“気象用レーダー及びレーダリレー装置”, 東芝レビュー,**11**,No.1, 東京芝浦電気株式会社発行(1956)
- 4) 2万5千1地形図 脊振山(昭和44年測量), 国土地理院発行(1972)
- 5) 官報 第1962号, 観象(1890/1/1)
- 6) 官報 第2652号, 内務省令第5号(1892/5/4)
- 7) 福岡の気象百年, 福岡管区气象台編 日本気象協会福岡本部発行(1990)
- 8) 曾我誉旨生:“九州の空港のナンバードワン&オンリーワン伝説”, 日本エアポート05 九州の空港(イカロス出版, 2012)
- 9) 官報 第2183号, 彙報 航空第四大隊移轉(1919/11/13)
- 10) 官報 第674号, 逓信省告示第978号(1929/4/1)
- 11) 官報 第3198号, 勅令第91号(1923/3/23)
- 12) 官報 第1097号, 文部省告示第196号(1930/8/25)
- 13) 気象百年史, 気象庁編 日本気象学会発行(1975)
- 14) 官報 第1097号, 文部省令第21号(1930/8/25)
- 15) 官報 第1097号, 文部省告示第197号(1930/8/25)
- 16) 絵葉書「(博多名所) 名島飛行機場」, 発行年不明
- 17) 日本無線史 第4巻 無線事業史, 電波監理委員会発行(1951)
- 18) 本邦無線電信電話局所設備一覽表 附・世界主要無線電信電話局名録 昭和6年3月末日現在, 逓信省工務局発行(1931)
- 19) 官報 第754号, 逓信省告示第1989号(1929/7/5)
- 20) 官報 第2818号, 逓信省告示第1069号(1936/5/27)
- 21) 官報 第2818号, 逓信省告示第1068号(1936/5/27)
- 22) 官報 第2990号, 逓信省告示第3406号(1936/12/18)
- 23) 官報 第3455号, 文部省告示第264号(1938/7/11)
- 24) 官報 第3848号, 文部省告示第438号(1939/11/1)
- 25) 糟屋郡地誌, 香椎高等女学校地理教室編 香椎高等女学校八校発行(1937)
- 26) 連雲港開港と博多港, 福岡市役所商工課発行(1941)
- 27) 官報 第3006号, 文部省令第1号(1937/1/13)
- 28) 官報 第4440号, 文部省令第80号(1941/10/25)
- 29) 航空評議會事故飛行機調査主査委員會:“白鳩號事故の原因並に過程”, 航空研究所彙報, No.117, 東京帝國大學航空研究所発行(1934)
- 30) 官報 第3474号, 文部省告示第383号(1938/8/2)
- 31) 官報 第3848号, 勅令第740号, 文部省令第51号(1939/11/1)

- 32) 官報 第3900號, 中央氣象臺告示第1號(1940/1/10)
- 33) 長崎県の気象, 長崎海洋気象台発行(1962)
- 34) 熊本県の気象百年, 熊本地方気象台発行(1990)
- 35) 絵葉書「熊本測候所支所阿蘇火山観測所」, 発行年不明
- 36) 最新図解科学精粹, 科学知識普及会発行(1938)
- 37) 官報 第1661號, 遞信省告示第1341號(1932/7/14)
- 38) 本邦無線電信電話局所設備一覽表(昭和9年3月末日現在), 遞信省工務局発行(1934)
- 39) 官報 第1662號, 遞信省告示第1351號(1932/7/15)
- 40) 官報 第2447號, 遞信省告示第498號(1935/3/2)
- 41) 官報 第4274號, 文部省令第36號(1941/4/9)
- 42) 氣象官署官制改正ニ關スル參考書 昭和16年1月, 公文類聚第65編 昭和16年 卷17(1941)†
- 43) 山岳氣象報告, 中央氣象台発行(1951)
- 44) “佐賀県脊振山でジャビー氏重傷を負う”, 大阪毎日新聞 (1936/11/20)
- 45) 服巻四郎: 脊振路, 脊振村公民館発行(1965)
- 46) 官報 第4564號, 文部省令第25號, 文部省告示第483號(1942/3/30)
- 47) 氣象官署官制改正ニ關スル參考書 昭和17年1月, 公文類聚第66編 昭和17年 卷19(1942)†
- 48) 官報 第5017號, 文部省令第76號(1943/10/1)
- 49) 安藤英俊: “英彦山の気象志”, 郷土史誌そえだ, No.14, 添田町郷土史会発行(1989)
- 50) 安藤英俊: “英彦山気象志”, 増補 英彦山, 田川郷土研究会発行(1978)
- 51) 氣象官署官制改正説明書 昭和18年6月, 公文類聚第67編 昭和18年 第19卷(1943)†
- 52) 官報 第7003号, 運輸省令第30号(1950/5/19)
- 53) 暴風雨 I 低気圧, 氣象要覽, No.516, 中央氣象臺発行(1942)
- 54) 佐貫亦男: 地上気象器械, 共立全書53(共立出版, 1953)
- 55) 火山現象 阿蘇山, 氣象要覽, No.515, 中央氣象臺発行(1942)
- 56) 火山現象 阿蘇山, 氣象要覽, No.526, 中央氣象臺発行(1943)
- 57) 火山現象 阿蘇山, 氣象要覽, No.530, 中央氣象臺発行(1943)
- 58) 大坪敬吉: “脊振山頂の落雷”, 集報, No.3, 雷雨警報協同連絡會発行(1940)
- 59) 脊振山測候所: “脊振山の落雷”, 氣象要覽, No.527, 中央氣象臺発行(1943)
- 60) 糸井晃一: “水銀避雷器に就て”, 電氣工學, 19, No.7(1930)
- 61) 藤田哲也: ある気象学者の一生, 藤田碩也編, 私家版(1996)
- 62) T.Fujita “Micro-analysis Study of Thunder-Nose”, *Geophysical Magazine*, 22, No.2, Japan Meteorological Agency (1950)
- 63) ESS-E SCAPIN-301: Commercial and Civil Aviation, General Headquarters Supreme Commander for Allied Powers (1942/11/18)
- 64) 続日本無線史 第一部, 続日本無線史刊行会発行(1972)
- 65) 航空無線60年史 空の安全を支えた無線, 航空無線会発行(1985)
- 66) 官報 第6680号, 運輸省令第12号(1949/4/21)
- 67) 官報 第7003号, 運輸省令第30号(1950/5/19)
- 68) 福岡市史 第8巻 昭和編後編(4), 福岡市市役所発行(1978)
- 69) Mobile Military Radar, 610th Aircraft Control & Warning Squadron, https://www.mobileradar.org/unit_610_679.html
- 70) Damages Caused by Typhoon “Judith” at Seburu-yama : Judith (Typhoon) Binder No. 1 (Aug 1949-31 Dec 1949), Records of General Headquarters Far East Command(1949/10/18)
- 71) 眞鍋大覺: “船舶の安全性からみた海洋の風波”, 船舶, 28, No.11, 天然社発行(1955)
- 72) 「九州ものしり学 藤田哲也 ミスタートルネードと呼ばれた博士」, Please, No.178, 九州旅客鉄道株式会社発行(2002)
- 73) 藤田哲也博士の講演動画の公開について, 福岡管区気象台公開(2022/3/24): https://www.jma-net.go.jp/fukuoka/gyomu/osirase/20220324_fujita.pdf
- 74) Horace R. Byers “Nonfrontal thunderstorms”, University of Chicago. Institute of Meteorology Miscellaneous reports, No.3 (1942)
- 75) 「背振山分屯基地の沿革」, きゅうしゅう, No.28, 九州防衛局総務部発行(2014)
- 76) 官報 號外(三), 運輸通信省令第3號(1943/11/1)
- 77) 官報 第5502號號外, 運輸省令第1號(1945/5/19)
- 78) 渡辺洋二: ドイツ夜間戦闘機, 第二次世界大戦ブックスNo.78(サンケイ出版, 1980)
- 79) Rod Burman “Summary of Magnetron Development”, 20th conference of ARMMS RF and Microwave Society(2012)
- 80) J.R. Probert-Jones “A History of Radar Meteorology in the United Kingdom”, Radar in Meteorology, American Meteorological Society (1990)
- 81) David Atlas “Early Foundation of Measurement of Rainfall by Radar”, Radar in Meteorology, American Meteorological Society(1990)
- 82) J.O.Fletcher “Early Developments of Weather Radar during World War II”, Radar in Meteorology, American Meteorological Society (1990)
- 83) 五十五年の歩み, 日本無線株式会社発行(1971)
- 84) 日本無線史 第10巻 海軍無線史, 電波管理委員会発行(1951)
- 85) 中島茂: 創意無限, 中島真人発行, 私家版(1997)
- 86) 日本水産50年史, 日本水産株式会社発行(1961)
- 87) 大村秀雄: “第二回南氷洋捕鯨出漁について”, 農林時報, 6, No.11, 農林省總務部弘報課発行(1948)
- 88) 長屋勝博: “気象レーダーの開発・製作の変遷—60年の取り組みをたどって—”, 気象研究ノート, No.237, 日本気象学会発行(2018)
- 89) 立平良三, 石原正仁: “気象庁レーダー60余年の歩み”, 気象研究ノート, No.237, 日本気象学会発行(2018)
- 90) 矢島幸雄: レーダー取扱の実際(第4版), OHM文庫73(オーム社, 1961)
- 91) Nobuhiko Kodaira “History of Radar Meteorology in Japan, Radar in Meteorology”, American Meteorological Society (1990)
- 92) 佐貫亦男: 気象器械(その一) 気象学講座 第6巻(地人書館, 1955)
- 93) George B. Collins “Microwave Magnetrons”, 1st Edition (McGraw Hill, 1948)
- 94) 藤井英雄: “台風とレーダー”, 無線弘報, No.35, 日本無線株式会社発行(1954)
- 95) 気象百年史 資料編, 気象庁編 日本気象学会発行(1975)
- 96) 浜津享助, 浜田知也: “気象レーダー製作の歴史”, 気象研究ノート, No.237, 日本気象学会発行(2018)
- 97) 昭和28年西日本水害記録, 日本国有鉄道西部総支配人発行(1954)
- 98) Observation Section Fukuoka District Central Meteorology Observatory “A Weather Radar on Mt. Sefuri”, *Geophysical Magazine*, 27, No.3, Japan Meteorological Agency (1956)
- 99) 藤原美幸, 岡部正勝, 西岡 正: “北九州における梅雨(1957年7月3～5日)のレーダー観測とエコー模様”, 福岡管区気象台要報, No.14(1958)
- 100) 森田啓二郎: シンクロ電機(日刊工業新聞社, 1965)
- 101) 土井謙二: “新しい背振山レーダー観測室”, 技術通信, 6, No.2, 福岡管区気象台発行(1960)
- 102) 記録映画「背振山気象用レーダー」, 福岡管区気象台レーダー談話会制作(1959)
- 103) 西巻正郎, 相浦正信: マイクロ波電子管 実用マイクロ波講座(オーム社, 1958)
- 104) 大越英雄, 久郷幸次, 黒川 篤, 国分幹郎, 竹内誠一郎, 西岡米郎, 吉田 孝: レーダ技術(その1)(第8版)電子通信シリーズ, 電子通信学会発行(1978)
- 105) A. Schirmer “Emission of Parasitic X-rays from Military Radar”, European IRPA congress on radiation protection(2006)
- 106) 中島俊之, 大内清吾: 船舶用レーダー取扱の実際(第3版) OHM文庫81(オーム社, 1961)
- 107) 岩間義郎: 硬質磁性材料 磁気工学講座3(丸善, 1976)
- 108) 高橋修一, 森 精三: マイクロ波応用 実用マイクロ波講座(オーム社, 1959)
- 109) テン送信用真空管(カタログ), 富士通株式会社発行(発行年不

- 明)
- 110) 大越英雄, 久郷幸次, 黒川 篤, 国分幹郎, 竹内誠一郎, 西岡米郎, 吉田 孝:「レーダ技術(その2)(第8版)電子通信シリーズ, 電子通信学会発行(1978)
 - 111) 1958年マツダ真空管ハンドブック 第2巻(誠文堂新光社, 1958)
 - 112) 大塚 茂:“気象用レーダー反射波積算装置による面積雨量観測結果について”, 電力気象連絡会集報 第2輯, **8**, No.1, 電力気象連絡会発行(1958)
 - 113) 「New Product 気象用レーダー」, 東芝レビュー, **10**, No.9, 東京芝浦電気株式会社発行(1955)
 - 114) 修猷館二百年史, 修猷館200年記念事業委員会発行(1985)
 - 115) 深海 規, 森田正典:「マイクロ波通信・機器 実用マイクロ波講座 (オーム社, 1959)
 - 116) 末武国弘, 林 周一:「マイクロ波回路 実用マイクロ波講座 (オーム社, 1958)
 - 117) 桜井良文:「光・マイクロ波磁気工学(丸善, 1976)
 - 118) 小口文一:「マイクロ波およびミリ波回路(丸善, 1964)
 - 119) 新商品紹介 単流導波管(Uniguide), 東芝レビュー, **10**, No.3, 東京芝浦電気株式会社発行(1955)
 - 120) 大河内正陽, 牧本利夫:「マイクロ波測定実用マイクロ波講座 (オーム社, 1959)
 - 121) 官報 第8761号, 郵政省告示第328号(1956/3/14)
 - 122) 官報 第8973号, 郵政省告示第1289号(1956/11/21)
 - 123) 官報 第9282号, 郵政省告示第1102号(1957/11/29)
 - 124) 官報(号外第54号), 郵政省令第12号(1961/6/1)
 - 125) 岡部正勝:“脊振山のレーダー”, 気象, No.48, 日本気象協会発行(1961)
 - 126) 藤原寛人:“日本における防災気象無線施設について(1)”, 電波時報, **21**, No.1, 電波振興会発行(1966)
 - 127) 観測所観測指針, 気象庁発行(1969)
 - 128) 福岡管区気象台:“背振山頂の勤務 霧が邪魔して灯が見えぬ”, 運輸, **6**, No.3, 運輸政務更生協会発行(1956)
 - 129) 大枝良介:“福岡管区気象台背振山レーダー観測室の用水の放射能汚染について”, 天気, **6**, No.4, 日本気象学会発行(1959)
 - 130) 福岡管区気象台:“背振山飲料水確保に成功”, 気象, No.22, 日本気象協会発行(1959)
 - 131) 岡部正勝:“背振山レーダーの故障歴の回顧”, 技術通信, **8**, No.1, 福岡管区気象台発行(1962)
 - 132) 福岡県災異誌 Part.III, 福岡管区気象台発行(1965)
 - 133) 岡部正勝:“背振山レーダー・台風初見参記”, 技術通信, **1**, No.2, 福岡管区気象台発行(1955)
 - 134) 長崎県災異誌, 長崎海洋気象台発行(1965)
 - 135) 大沢綱一郎, 尾崎康一:“諫早方面の大水害について(附, その降雨機構)”, 天気, **4**, No.9, 日本気象学会発行(1957)
 - 136) 桂 俊治:“気象無線”, 電波時報, **19**, No.6, 電波振興会発行(1964)
 - 137) 「気象界の動き 背振山新レーダー完成」, 気象, No.152, 日本気象協会発行(1969)
 - 138) 井田利規:“レーダー気象観測測器(1)”, 気象, No.398, 日本気象協会発行(1990)
 - 139) パンフレット「福岡気象レーダー 1982」, 日本無線株式会社作成(1982)
 - 140) 「過去の災害に学ぶ(3) 1982長崎豪雨災害」, 広報ぼうさい, No.27, 防災・情報研究所発行(2005)
 - 141) 1982長崎豪雨災害報告書, 中央防災会議 災害教訓の継承に関する専門調査会作成(2005)
 - 142) 「延岡市における竜巻の被害」, 「北海道佐呂間町における竜巻の被害」, 広報ぼうさい, No.36, 防災・情報研究所発行(2006)
 - 143) 鉄道事故調査報告書「九州旅客鉄道株式会社日豊線南延岡駅構内列車脱線事故」, 航空・鉄道事故調査委員会作成(2008)
 - 144) 水野孝則, 新野 宏, 小林文明, 鈴木 修, 加藤輝之, 坪木和久, 田村幸雄, 赤枝健治, 海老原智:“気象研究所主催「竜巻シンポジウム」報告”, 天気, **54**, No.10, 日本気象学会発行(2007)
 - 145) 報道資料「平成18年度補正予算案の概要」, 気象庁作成(2006/12/20)
 - 146) 石原正仁, 井高 高:“空港気象ドップラーレーダーがとらえたマイクロバーストとシャーライン”, 天気, **44**, No.7, 日本気象学会発行(1997)
 - 147) 「気象ドップラーレーダーの導入と集中豪雨対策の強化」, 気象業務はいま, 気象庁発行(2006)
 - 148) 長田正嗣, 河原 登, 羽田利博:“気象庁向け気象ドップラーレーダー”, 日本無線技報, No.58, 日本無線株式会社発行(2010)
 - 149) 塚本尚樹:“気象庁現業用レーダーの変遷”, 気象研究ノート, No.237, 日本気象学会発行(2018)
 - 150) 深沢敦司, 阿部正司, 後藤章博:“マイクロ波における非相反回路(その2)ラッチングサーキュレーター”, 沖電気時報, **38**, No.4, 沖電気株式会社発行(1990)
 - 151) 報道発表資料「平成29年7月5-6日の福岡県・大分県での大雨の発生要因について」, 気象研究所作成(2017/7/14)
 - 152) 「平成29年7月九州北部豪雨の被害状況と対応等について」, 広報ぼうさい, No.88, 内閣府(防災担当)普及啓発・連携参事官室発行(2017)
 - 153) 「令和2年7月豪雨を受けて～新たな技術課題とその対応策～」, 気象業務はいま2021, 気象庁発行(2021)
 - 154) 「豪雨予測、福岡に最新レーダー 東京に続き2ヵ所目」, 西日本新聞朝刊(2020/9/1)
 - 155) 「新しい技術情報 二重偏波レーダーによる降雨観測」, 土木技術資料, **36**, No.11, 土木研究センター発行(1994)
 - 156) 配付資料「気象レーダーの更新とそれに伴う運用休止について」, 気象庁観測部・気象庁予報部作成(2020/9/25)
 - 157) 気象庁のレーダー配置, 気象庁: <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/radar/kaisetsu.html#haichi>
 - 158) 半谷政毅, 弥政和宏, 新庄真太郎:“高周波高出力半導体の現状動向および応用例」, JEMEA Bulletin, **2**, No.1, 日本電磁波エネルギー応用学会発行(2016)
 - 159) 伊藤信一:レーダシステムの基礎理論(コロナ社, 2015)
 - 160) 永末 宏, 田村英樹, 中川幸彦, 能木場裕也, 石内 豊:“固体化気象レーダー”, 日本無線技報, No.62(2012)
 - 161) 竹内清秀:“富士山頂気象レーダー わが国気象観測網のかねめ”, 天気, **12**, No.5, 日本気象学会発行(1965)
 - 162) 浅田暢彦:“レーダー情報伝送網についてーその構想と伝送装置ー”, 測候時報, **38**, No.6, 気象庁発行(1971)
 - 163) 迫田優一:“気象レーダーのデジタル化について”, 天気, **37**, No.10, 日本気象学会発行(1990)
 - 164) 映画パンフレット「ツイスター」, 東宝株式会社 出版・商品事業室発行(1996)
 - 165) NHK総合「ブレイブ 勇敢なる者」, 第1回「ミスタートルネードー 気象学で世界を救った男ー」(2016/5/2放映)
 - 166) 新田次郎:富士山頂, 文春文庫112-1(文藝春秋, 1974)
 - 167) NHK総合「プロジェクトX 挑戦者たち」, 第1回「巨大台風から日本を守れー富士山頂・男たちは命をかけたー」(2000/3/28放映)
 - 168) 「世界の技術史に残る富士山レーダー」, 今日の気象業務, 気象庁発行(2000)
 - 169) 新田次郎:芙蓉の人, 文春文庫112-6(文藝春秋, 1975)
 - 170) 「国土交通省レーダ雨量計 XRAIN 配信エリア拡大!」, 国土交通省報道発表資料(2016/6/29)
 - 171) 「気象の監視と情報発表」, 気象業務はいま, 気象庁発行(2020)
 - 172) 安田珠機, 永戸久喜:“線状降水帯予測精度向上に向けた学官連携の取組」, 福岡管区気象台記者説明会資料(2022/7/26)
 - 173) 線状降水帯予測の開始について, 気象庁報道発表(2022/4/28)

(2022年11月 1日 受理)