

富士山頂気象レーダー*

— わが国気象レーダー観測網のかなめ —

竹 内 清 秀**

1. はしがき

毎年、夏から秋にかけて、わが国は数回にわたって台風の来襲を受ける。その外、集中豪雨または豪雪という気象災害もある。その度に幾多の人命が失われ、多くの物質的損害を受けている。そこで、これらの気象現象を一刻も早く適確に予報し被害を最小限に食い止めることが切望されて来た。

さて、その予報を出すための気象資料は、主に気象官署で行われている気象観測によっている。気象レーダーが開発されるまでは、定められた地点における定められた時刻（もっとも臨時もあるが）の地上および高層の気象観測資料だけであった。約10年前、はじめてわが国に気象レーダーが設置されて、これまでの観測が点の観測であったのに比較して面の観測ができるようになった。メソスケールの天気現象（主に雨雲に関係する現象）を随時ブラウン管の上に見ることができるようになり、従来の気象観測に関する概念は根本的に変えさせられた。前線や雷雲をブラウン管の上に捕え、台風の眼を追っかけて行けるようになった。このようなレーダーの働きの優秀性が一般に認められ、現在では全国13カ所に気象レーダーが設置されている。中でも、昨年秋、完成された富士山頂気象レーダーは主に台風探知用に設置されたもので、その強力なこと、設置場所の高いこと、その他付属装置の優れていることなど、気象レーダーとして世界に誇るべきものと思われる。

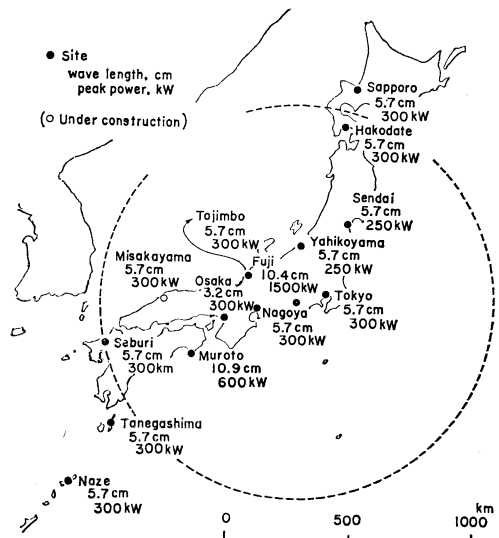
2. わが国における気象レーダー観測網の現状

レーダーは元来、軍事目的のために開発され使用され

て来たが、戦後これが気象の観測に非常に有用であるとされ、特に米国で気象レーダーとして開発されて来た。わが国においては、戦時中の遅れと戦後数年の研究禁止のため、わが国技術者の苦心の開発の結果、はじめて気象レーダーが設置されたのは昭和29年である。研究用として気象研究所に、また業務用として大阪管区気象台に設置された。波長 3cm, 最大探知距離は 250 km であったが、これらレーダーによる観測はすばらしいものであり、当時の気象関係者の目をみはらせた。その後、順次数を増し、現在業務用として13カ所の気象レーダーが作動し、それらの観測範囲はわが国全土をほとんどおおう

J.M.A. WEATHER RADAR NETWORK

(April 1965)



第1図 気象庁レーダー観測網（破線は富士山を中心に半径 800km の円）

* Weather Radar on Top of Mt. Fuji—Center of weather radar network in Japan—

** K. Takeuchi, 気象庁観測部測器課
—1965年3月30日受理—

第1表 わが国気象レーダー性能一覧表

設置点 (レーダーリレーによる映像 伝達地点)	周波数 Mc	尖頭出力 kW	ビーム幅 deg	パルス幅 μ s	繰返周波数 c/s	最大探知距離 km	指示装置	空中線直径 m	空中線 海拔高 m	受信機 雑音指数 dB	完成年月 昭和	製造会社
大 阪	9,375	300	0.9	0.8	400	250	PPI×2	2.0	36	15	29.5	日本無線
育振山 (福岡)	5,300	300	1.3	1.0	400	300	PPI×2	3.0	968	15	30.8	東芝
東 京	5,300	300	1.3	1.0	310	300	PPI, A	3.0	58	15	30.10	三菱
種子島	5,300	300	1.3	1.0	310	300	PPI, A	3.0	290	11	34.6	日本無線
名 瀬	5,300	300	1.3	1.0	350	300	PPI, A	3.0	315	11	34.9	東芝
室戸岬	2,740	600	1.7	2.0	220	400	PPI	4.0	201	4	35.8	東芝
名古屋	5,300	300	1.3	1.0	310	300	PPI×2, A	3.0	73	5	36.6	三菱
函館山 (函館)	5,300	300	1.3	1.0	260	400	PPI×2, A	3.0	310	5	37.5	東芝
弥彦山 (新潟)	5,300	250	1.3	2.0	260	400	PPI×2, A	3.0	647	6	37.12	日本無線
仙 台	5,300	250	1.3	2.0	260	400	PPI×2, A	3.0	65	6	38.5	日本無線
札 幌	5,300	300	1.3	1.0	260	400	PPI×2, A	3.0	43	6	38.5	三菱
富士山 (東京)	2,880	1,500	1.6	{1.0 3.5}	{310 160}	800	PPI×2, PRHI, A×2 (レードーム付)	5.0	3,779	3	39.10	三菱
東尋坊 (福井)	5,300	300	1.3	1.0	260	400	PPI×2, RHI, A (レードーム付)	3.0	107	6	40.3	東芝
三坂山 (松江)	5,300	300	1.3	1.0	260	400	PPI×2, RHI, A (レードーム付)	3.0	545	6	41.3 予定	未定

ようになった。(第1図参照)。その主な性能を第1表に示してある。その表からわかるように、福岡に設置されたもの以降は、大部分、5 cm 波を使用している。これは途中降雨があっても比較的遠方まで電波が到達し、しかも反射電波の強度が強いという利点があるからである。室戸岬、富士山頂の気象レーダーは10cm 波を使っているが、その設置場所を考えて主に台風探知をその目的としているからである。10 cm 波は他の2波に比べて、途中の雨による減衰が少い。また、室戸岬のもの以降にはパラメトリック増巾器を採用したので受信機の雑音指数が下っている。

3. 富士山頂気象レーダーの意義と特徴

従来の気象レーダーは、その最大探知距離が300ないし400kmである。もし台風が南西諸島に沿って北上するならば、順次レーダー官署が捕捉して行くが、本州南方より北上する場合は、いわば突然本土に襲来することとなる。もっと余裕をもって台風を探知したいと切望されていた。台風の高さにもよるが、600km以上を直視できるレーダー設置場所は東京付近において富士山以外にない。(台風の高さをかりに15kmとすれば、富士山の高度3776mを考えに入れて計算すると、地球の彎曲のため直視できる最大距離は、約750kmとなる)。しかも、山頂には年中職員がいて気象資料は十分蓄積されている。こ

れが建物、機器の設計に絶対必要である。数年以前から計画はされていたが、予算が通過し実行に移されたのは昭和38年および39年度である。そして非常な技術的な困難を克服して昭和39年10月に完成された。

山頂のきびしい気象条件から機器を保護するため、わが国の気象レーダーとしては初めてのレードームのあるレーダー用建物が新たに建てられた。(第2図、口絵写真参照)。この中に設置されている富士山頂気象レーダーは種々の点で世界に誇るべき特徴を持っている。その主なものは次のようである。

(1) 設置場所が非常に高く、10 cm 波の出力が強力であるので、最大探知距離は800kmとなった。

(2) 山頂と100km距った気象庁とは、いわゆるマイクロ波によるレーダーリレーで連結されているので、山頂で得られた映像は同時に気象庁に伝送される。また、山頂の気象資料も毎正時に気象庁に送られタイプされる。

(3) 山頂勤務の職員の少いことを考慮し、山頂の機器の主要なものは、上述のレーダーリレーにより気象庁より遠隔操作ができる。

(4) 山頂のきびしい気象状態を考えて種々の装置が装備されている。レードームはもちろんそのためであるが、特に霧氷対策がとられた。

(5) CAPI (Constant Altitude Position Indicator of 略)などの優秀な付属装置がつけられた。

以上の事項の外、山頂での工事期間が非常に短いので、プレハブ式の建築方法がとられ、また、建設資材、機器の運搬にヘリコプター、改造ブルドーザーが用いられたことも特徴であった。これは後述する。

4. 工事の過程のあらまし

富士山頂に測候所が設置され四季にわたって気象観測が行われるようになってから久しい。予算案の作成に先立って、山頂の気象資料の整理が行われた。建築および機器の設計には、気象資料の各種統計が絶対必要である。また、富士山頂と気象庁との間に果して見透しが効くのであろうかという問題が最後まで残った。山頂測候所は火口壁の東京側と反対側にある。地図上で調べても非常に微妙なところで、正確なことはわからない。結局、真冬であったが山頂測候所の数カ所でフライヤーをたき、それを東京から望遠鏡で観測した。その結果、測候所の或る場所で見透しがきくことがわかり、最終的な建設地が決定された。

昭和38年度がはじまると早々に入札が行われ、三菱電機株式会社に落札した。雪の融けるのを待たず、6月には工事が開始された。山頂の空気の密度は平地の2/3、山頂での力仕事は困難を極めた。富士山頂気象レーダー設置の成否は、工事のできる限られた期間に必要な機材を運搬し、まず建物をはやく完成させることである。第1年度には、建設資材、生コン、建屋パネルなど(総量250トン)がヘリコプターで運搬され、建築が始められた。ヘリコプター運搬が天候に左右されること、労働者が多く高山病に悩まされたことなどで、初年度は目標の半分ぐらいで雪が降り出し、やむなく中止せざるを得なかった。

第2度には前年の経験に基づいて、計画が練り直された。すなわち、運搬にはブルドーザーを主力とし、レーダー機器のように破損しやすいものにヘリコプターを使用することとした。また、労働者の事前の健康診断を厳重にし、適切な労働管理を行った。その上、昭和39年の夏には、東京では水飢きんの騒ぎがおこる程、好天気が続き、山頂の工事に幸いした。工事の山は何といってもレードームのヘリコプターによる輸送であった。台風14号が本州南方で停滞し本土をねらっていたが、ついに8月15日、直径9m、重さ約600kgのレードームがヘリコプターによって吊り下げられ、3776mの山頂まで運ばれ、多勢の人の見守る中、成功のうちに基台の上にしっ

かりと置かれた(第3図、口絵写真参照)。このような重いものをこのように高所まで空輸したのは世界でも例がないということである。幸い、風速4m/sという快晴であった。それを契機に、工事は急ピッチで進められ、9月末にはレーダー機器の据付け調整が終った。2年間に運搬された総量は約450トンであった。

昭和39年10月1日電波監理局の試験合格し、直ちに試用運転に入った。山頂で得られた映像は、関係者には予想されたものではあったが、それでも緊張し興奮させるに十分であった。気象レーダー関係者の間に、新しく気象レーダーを設置するとそれを試すかのように特異気象現象がそこを襲うというジンクスが語られている。富士山頂気象レーダーの場合は、大したことはなかったが、台風20号が本州に沿って北上した。第4図(口絵写真)は岡山市東方を北上している映像を示している。

5. 富士山頂気象レーダーの仕様のあらまし

3776mの山頂に設置し、非常にきびしい天候にさらされること、しかも十分な保守職員が得られないということを考え、次のような方針をまず立てた。

- (1) 信頼性のある安定した方式であること。
- (2) 山頂の厳しい気象条件に十分耐えること。
- (3) 短期間に山頂工事が完了できること。
- (4) 操作および保守が簡単容易であること。

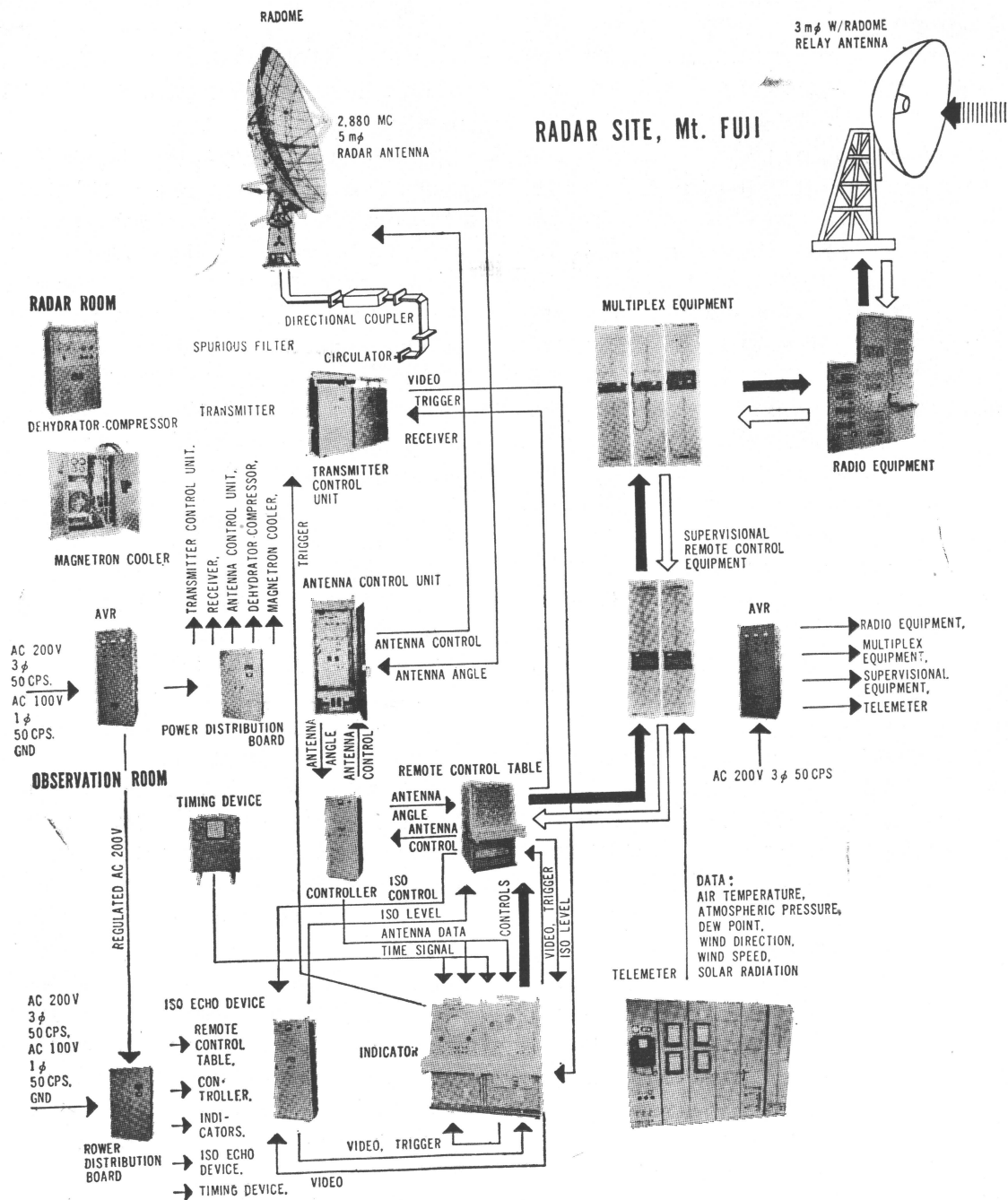
山頂の気象条件としては、気圧は平地の2/3、最低気温は -35°C 、最大風速は80m/sの過去の記録がある。さて、気象レーダー全体の構成は次のようである。(1)レーダー装置、(2)レーダーリレー装置、(3)レードーム、および(4)電源設備。それらについて、少し詳細に説明する。なお参考のため、第5図にそれらの系統図を示す。

5.1. レーダー装置

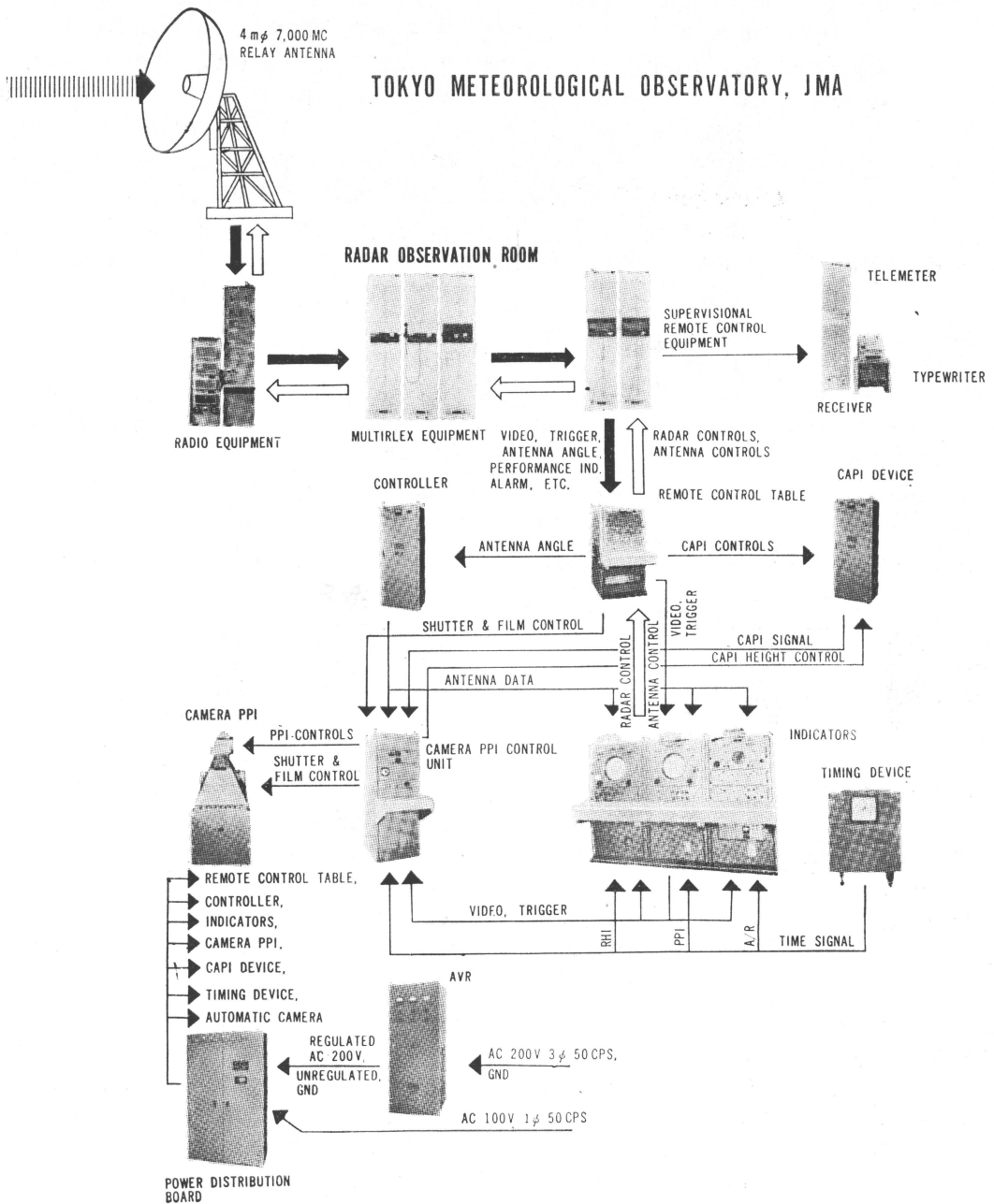
前述したように伝搬路上の降雨による電波の減衰は、センチメートル波においては波長が長くなるにつれて小さくなることが知られている。台風の探知を主な目的とするので、波長として10cmが選ばれた。また、最大探知距離を従来のものの2倍以上の800kmにするため、(1)大電力送信機、(2)大口径空中線、(3)高感度受信機、および(4)長いパルス幅を採用することにした。パラメトリック増巾器を用いたのも上の方針に基づいたものである。

さて、レーダー装置の主要性能は次のようである。

送受信周波数	2,880 Mc
尖頭出力	1,500 kW
送信パルス幅	1 μs および 3.5 μs 切替



第5図 富士山頂気象レーダー系統図



パルス繰返し周波数	310 pps および 160 pps
最小受信感度	-110 dBm
空中線 形 状	直径 5 m 円形パラボラ
ビーム幅	1.6 deg
水平走査	自動, 5 rpm
垂直走査	自動, -2 ~ +18 deg 往復 走査, 12 s/cycle 手動, -5 ~ +25 deg ステップ, -1.5 ~ +25 deg (19ステップ)
観測距離範囲	50, 100, 200, 400, 800 km 切替.
等エコーレベル	5 dB ステップ 9 レベル
CAPI 高度	0 ~ 15 km

5.2. レーダーリレー

富士山頂で得られた映像を東京に伝送し、その上、山頂のレーダーを遠隔操作するため、レーダーリレーが設置された。さらに、これを利用して業務電話回線、テレメーター信号も同時に送ることができる。これら諸信号を良質にかつ経済的に複合多重伝送するため、周波数分割多重方式を採用することとした。その結果は非常な成功であって、東京に送られた映像は山頂とほとんど同じ高品質のものであった。伝送容量は次のようである。

富士山局から東京局へ	ビデオ信号 1 ch
	電話 90ch
	その他信号 47ch
東京局から富士山局へ	電話 60ch
	その他信号 4 ch

その他の定格仕様は次のようである。

伝 送 距 離	100 km
送信周波数	富士山局から東京局へ 6,860 Mc 東京局から富士山局へ 6,700 Mc
送 信 出 力	富士山局 5 W 東京局 0.8 W
空 中 線	富士山局 3 mφ (レードーム付) 東京局 4 mφ

5.3. レードーム

山頂の厳しい天候のため、わが国の気象レーダーとしては初めてのレードームを設置し空中線装置を保護した。運搬と組立ての容易なことを考えて、スペースフレーム式を採用した。そのわくは高張力アルミが使用され、そのわくにはめられる 135 枚の三角形の板はガラス繊維入り強化ポリエステル樹脂板が用いられた。レードーム全体の大きさは直径約 9 m、高さ約 7 m の半球形である。それで電力透過率は平均 90% 以上である。

レードームに霧氷のつくことを考えて、風上側にレードームの表面に沿ってブローヤから強制的に通風する装置を付加した。現在まで、霧氷が着きこの装置を使用しなければならぬ場合は幸いなかった。

5.4. 予備電源

平常の時は、山麓から敷かれた電力ケーブルに頼っているわけであるが、これはしばしば落雷による損害をうける。しかも、その停電は冬に多く、雪が多いのでその復旧には非常に手間がかかる。そのため予備電源が絶対に必要である。20 kVA ディーゼル発電機が 3 台、7.5 kVA ディーゼル発電機が 2 台設置されており、自動電圧調整器が付属している。

6. あとがき

昨年 10 月 1 日に試験電波を発してから半年以上経過した。その間、厳寒にもかかわらずレーダーによる気象観測が続けられた。そして本年 3 月 10 日、富士山頂気象レーダー完成式典が行われ、郵政省からその記念切手も発売された。気象庁に居ながらにして、富士山頂で得られる映像を見られるようになった。数年前までは考えもつかなかったことである。従来のものと違って観測範囲が非常にのびたので、シノプティックスケールでレーダー映像と天気図との対応ができるようになった。この点だけからいっても今後の富士山頂レーダーの利用が飛躍的にのびることが期待される。なお、広く利用するため、ファックスなどによる便利な映像伝送が真剣に考えられねばならない。

終りに、このレーダー完成は、気象庁の各関係官はもちろん製造にあたった三菱電機株式会社の関係者、その他外部の関係者の一致協力なくしてはあり得なかつた。著者は関係者の一人としてこの文を書いたものである。