

## 米国における気象サービスの動向

古川 武彦\*

### 1. はじめに

気象庁では、1996年3月から、これまでの気象レーダーやアメダス等の観測手段の整備、スーパーコンピュータの更新に伴う数値予報モデルの高度化などを背景に、従来の文章形式による天気予報に加えて、新たに天気や気温、降水量などを20 km 格子単位、3時間間隔で量的に表現した24時間予報など新しい天気予報を開始した。一方、既に民間においても気象予報士を置くなど一定の要件を満たせば、局地的な気象予報を行うことが可能となっており、1997年4月現在、37の事業者が誕生している。気象庁が保有するほとんど全ての実況や予測データが、財団法人「気象業務支援センター」を通じて民間の関係者に提供されている。さらに1996年7月には40年ぶりに気象庁本庁の組織の改編が行われ、新しい時代への対応を図っている（今木、1996）。

一方、米国の気象サービスは数年前から“気象サービス近代化法令（1992年10月制定）”と呼ばれる法律に基づいて、ドップラー気象レーダー（以下、ドップラーレーダー）や地上気象観測の全面的自動化などによるメソ現象の監視手段の抜本的強化と地方組織の再編成などに基づく、気象サービスの高度化を目指す「気象サービスの近代化とそれに伴う組織の再編成（Modernization and Associated Restructuring of the National Weather Service）」計画を段階的に進めており、現在そのまっただ中にある（NOAA, 1989；NOAA, 1992；Friday, 1994）。その背景には、現在先進各国で行われている国家財政の建て直しと政府組織のリストラの米国版ともいえるべき、米国政府と議会の要請がある。米国の気象サービスはこの近代化を契機

に大きく変わりつつある。筆者は近年、米国の航空気象・管制や気象業務の調査、シビアストーム（トルネードや雷雨あらしなど）に関するオクラホマでの日米のワークショップに参加し、また、昨秋はいくつかの近代化の現場に触れる機会に恵まれた。以下に米国の気象サービスの仕組みや動向を近代化計画と予報サービスなどを中心に述べる。

### 2. 米国の自然災害の特徴

米国の気象サービスの枠組みとその近代化計画の戦略を理解するためには、まず自然災害の特徴を見ておく必要がある。第1表は、米国気象局が取りまとめた1993年の被害をもたらした気象と犠牲者や被害額の概要を示す。357人の死者と2,808人のケガ人が見られる。このうち落雷、トルネード、サンダーストーム（以下、雷雨あらし）に伴う風の犠牲者の合計が約100人、突発的出水や洪水に伴うものが約100人、雪やブリザード（ふぶき）に伴うものが約50人となっており、土砂崩れやハリケーンに伴うものは、それぞれ僅かに2名となっている。その他、強風に伴う犠牲者が約40人である。

これらを第1表中の30年平均で見ると、雷、トルネード、洪水に伴う犠牲者の割合が非常に高い。洪水による犠牲者が最大である。この表には示していないが、過去9年間の年平均の犠牲者数は384人である。資産に対する損害は洪水およびハリケーンによるものが桁違いに大きい。年によるバラツキが非常に大きい。

トルネードは最も劇的な現象の1つで、米国全体の年間の平均発生数はおよそ1,000個である。トルネードや雷雨あらしを対象とする後述の警戒(watch)の回数は約500回、警報(warning)は約7,500回に達している。ひとたびトルネードが発生すると、実況や警報が気象局直営のFMバンドのウェザーラジオ（気象専用放送）や民放テレビで伝えられる。これに連動して、スポッターと呼ばれる民間の気象偵察隊がトルネードを

\* 気象庁予報部予報課（現：札幌管区気象台）。

—1997年3月31日受領—

—1997年9月25日受理—

第1表 米国の自然災害(1993年). ただし [ ] 内は30年平均の負傷者.

1993年の天気イベントと被害概要 (米国気象局)			
天気イベント	死者 (人)	負傷者 (人)	被害額 (百万ドル)
対流			
雷光	43	280 [89]	32.2
トルネード	33	971 [82]	368.4
雷雨あらし-風	23	416	337.7
雹	0	20	335.9
極端な気温			
寒	16	1	341.2
熱	13	66	75.4
洪水			
突発的出水	51	48 } [141]	406.7
河川洪水	52	45 }	20,825.4
海上			
沿岸あらし	0	0	0.7
津波	0	0	0.0
熱帯低気圧			
ハリケーンなど	2	1 [28]	15.0
冬			
雪/ブリザード	55	501	583.8
氷あらし	8	92	18.2
なだれ	1	0	0.0
その他			
干ばつ	1	0	514.0
砂塵あらし	0	1	0.0
雨	0	14	3,300.5
霧	5	9	0.2
強風	37	103	230.9
海上旋風	1	0	0.4
火災	3	239	950.0
土砂溜り	2	0	0.0
その他	11	1	25.0
合計	357	2,808	28,361.6

車で追跡し、位置などを刻々ホットラインで気象台に通報している。トルネードおよび洪水に伴う犠牲者の約半数が、車両や移動型住宅で占められているのは米国の大きな特徴である。

このように米国において最も大きな人的・物的被害をもたらす気象は、激しい対流性のメソスケール現象に伴うものであり、我が国での最大の被害が大雨に伴う土砂崩れに起因するのに比べて大きな相違がある。

### 3. 気象サービスの近代化と組織の再編成

まず、米国の気象サービスの歴史を手短かに振り返り、ついで近代化計画の目的、新しい観測システムの導入、地方組織の再編成などについて記述する。

#### 3.1 米国気象局小史

気象サービスの開始は、1870年に陸軍の通信隊の中に気象サービスを整備することが議会で認められ、22か所での組織的な気象観測の結果がワシントンに電報

で通報され、FORECAST と呼ばれるものが発表されたことに遡る。“FORECAST”という用語は、気象局が正式な語彙として“INDICATOR”の代わりに初めて用いたことによる。1890年に民生用としての気象局が農務省に誕生した。アメリカ気象学会の創立は1920年である。その後、気象局は1940年に商務省に移管され、軍は独立に気象センターを設立した。この頃、海軍の航空用レーダーが一部気象局に供与されて、気象レーダーシステムや雷雨あらしについての研究が気象局、軍、シカゴ大学の協同プログラムとしてスタートした。1950年には初めてトルネード警戒が発表され、翌年にはシビアウェザー警報センターがオクラホマで活動を開始した。1959年には、WSR-57(1957年仕様)型と呼ばれる初代の気象レーダーが、マイアミのハリケーンセンターで稼働を始めた。同じモデルは今では全く旧式ではあるが、後述する近代化計画によるドップラーレーダーへの更新まで実に30年にもわたって運

用されるのは注目に値する。同じようなことが地上気象測器でも見られる。日常の観測や観測精度の維持に支障が現れているわけではないが、錆が出ているパネルやトントンと叩かないと針が動きそうにもない代物の計器、傾く寸前のような測風柱なども、更新までトコトン使われている。1960年には世界最初の気象衛星「タイロス」が打ち上げられた。1967年に気象局(Weather Bureau)は環境科学サービス庁(ESSA: Environmental Science Services Administration)の傘下でNational Weather Service(以下、これも気象局と訳す)と改称され、ESSAは1970年に現在の米国海洋大気庁(NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration)になった。1988年にフライディ(Friday)が米国気象局(NOAA/National Weather Service)の局長となり、本稿でも触れる近代化8か年計画を発表した。なお、フライディ局長は、予算案および米国気象局の将来計画の方向づけでNOAAのベーカー長官と対立し、1997年6月末更迭された。

1990年には、近代化計画に沿ってスーパーコンピュータの導入を背景に数値予報モデルの精緻化が図られ、観測分野では次世代レーダーであるドップラーレーダーの契約や地上気象観測の自動化計画が進められた。

### 3.2 近代化計画の目標と戦略

気象サービスの近代化と組織の再編成(以下、単に近代化という)は、気象学と水文学において革新的に進歩した科学技術に基づいて、シビアウェザーおよび洪水を対象に、よりタイムリーで正確な警報及び予報を提供することを目的としている。具体的には、前述のような人的被害の回避や財産損失の軽減のための、迅速で信頼性のある情報提供のほか、産業界に対してはより信頼性のある予報を提供し、経費節減につながる対応がとり得る環境づくりを目指している。なお、米国では、気象業務も水文・水理業務も共に気象局が担当している。

この近代化計画は、これまでは機器や技術の陳腐化により、シビアストームやトルネード、洪水のように短時間で発生・発達する現象に対して、迅速な観測や解析、情報の伝達ができず、現象が起きた後になってから警報を出さざるを得なかったことがしばしばあった、そうした反省に基づいている。

こうした近代化計画は10億ドル規模の予算を費やし数年にわたる遠大なもので、計画が国民の理解を得ら

れるよう、近代化によって社会に還元されるべき利便性が以下のように具体的に示されている。

- \*多くの死傷者が発生し多額の損害を与える、ハリケーンと冬季の嵐についての警報と予報の改善

- \*死者数が一番多い突発的出水(flash flood)に関する、早期かつ信頼性のある警報

- \*雷雨あらしとトルネードについての、早期でより信頼性のある正確な警報;トルネード警報については、現在は10分前発表が現実化されているのを30分前にリードタイムを拡げる。

- \*人口の増加しつつある都市部、河川流域や沿岸域の住民に対する洪水警報の改善

- \*シビアウェザーに対する誤った警報を無くし警報サービスに対する市民の信頼を確保

- \*10日先までの中期予報の改善とそれに伴う農業、交通、他の経済活動への貢献

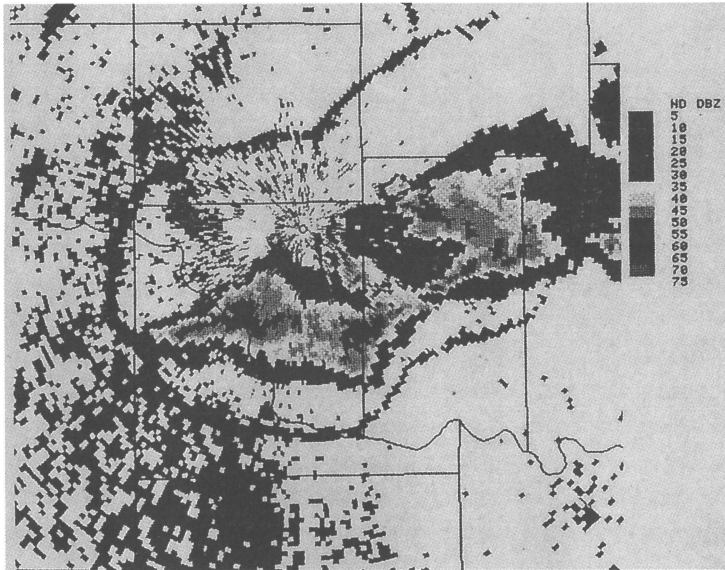
この他、近代化を進めるべき大きな動機として、ここ2、30年大気科学、特にメソスケール現象に関する観測や知見が大幅に進んだこと、また現在の観測機器類が旧式で陳腐化し人手を要するシステムであること、特に気象レーダーなどは第2次大戦から派生した1940年代の技術に基づいたものであり、その保守の負担が大きいことも挙げられている。

次に、近代化の基本戦略が、シビアストームを中心とした監視・観測手段の抜本的強化と信頼性の高い予報の提供の二本立てであることから、計画は次の2つの段階を経て達成される。

第1段階は、先進的な新しい観測システムの導入である。その目玉はドップラーレーダー、ウィンドプロファイラー、自動地上気象観測システムである。

第2段階は、先進的な情報処理、通信システムの導入であり、予報官の必要とする手段の提供と支援データの取得・集積、解析、解釈の高度化とシビアストームを中心とした信頼性のある予報の提供である。これらは、別項で述べるように必然的に従前の有人観測の自動化や気象サービスおよび組織の変革を伴っている。

ここで特に注目されるのは、近代化の推進に当たって地域を選んで業務のデモンストレーションと評価実験がなされていること、また、近代化が必然的に職員全体の職種転換や転勤を伴うことから、新しいポストと移行計画、研修や訓練プログラムが提示されていることである。また当然ながら、各級職員の支持と理解を得るための配慮や移行計画の全体管理の重要性が強調されている。



第1図 ドップラーレーダーで観測された雷雨あらしに伴うガストフロントの例. 半卵型の細い帯がガストフロント(Crum *et al.*, 1993による).

#### 4. 新しい観測・処理システムの導入

近代化計画で整備される新しい観測システムについて見てみよう。

##### 4.1 ドップラーレーダー

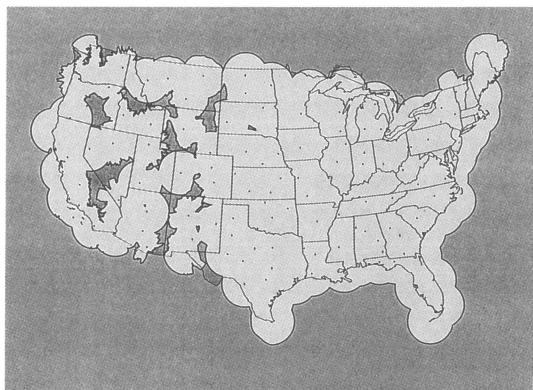
近代化計画の最大の武器がこのドップラーレーダーであると言っても過言ではない。これは次世代ドップラーレーダー (NEXRAD) として待望されたもので、業務上 WSR-88D と呼称される1988年仕様のドップラー (D) 気象レーダーである。この新レーダーが、後述する地方の新気象台に1台ずつ整備される。予報官は、レーダーのドップラー機能により設置点から半径230 km 以内の風の間を把握できるようになり、何よりも擾乱の“内部”を見ることができるようになったことのメリットは大きい。当然、擾乱の早期検出、特に擾乱の回転性 (トルネードやメソサイクロン) の有無を見分けることができ、これらは明らかにシビアストームに対する警報などの迅速化につながる。ドップラーレーダーの監視・解析のメニューは数十項目にのぼる。メニューの標準化はされているが、予報官がそれらを選択し、擾乱の性質を迅速に抽出し、警報の発表に至るのは容易ではない。

気象局は、地方の予報官がドップラーレーダーを有効に使いこなすための全米の研修センターをオクラホマに設け、担当のすべての予報官に研修を課している。研修対象者は約2,300人である。予報官達は機能的な階

段教室などで何冊ものテキストやワークステーションに相対し、予報現業者の標準コースでは18日間の研修を修了する必要がある。余談になるが、オクラホマ気象台 (後述する新気象台の1つでオクラホマ大学のあるノーマン市に位置する) が近代化計画の業務実験気象台になっており、男優ばりの元オクラホマ気象台長が、ボランティアで見学者向けに NEXRAD の威力をつぶさに紹介していたほか、NEXRAD 関連の気象グッズまで販売していたのには驚かされた。彼のビデオによる紹介では、雷雨あらしからの下降気流が周囲に拡がりつつ伝播し、かなり遠方の別の積乱雲のそれとぶつかり、新たに雲が発生する様子などを旧式のレーダー画像と対比させながら示して、宣伝に努めていた。第1図は、このような場合のドップラーレーダーの観測例であるが、中央付近に位置する雷雨あらしから半卵形のカストフロントが左方に拡がっているのが見られる (Crum *et al.*, 1993)。

一方、運輸省の連邦航空局 (FAA: Federal Aviation Agency) は、空港専用の別の仕様の空港ドップラーレーダー (TDWR: Terminal Dopplar Weather Radar) を主要空港約50か所に整備している。この TDWR は、航空機の離発着に危険を及ぼすダウンバーストと呼ばれる強烈な下降噴流などを監視し、ダウンバーストや風の大きなシアーの存在を、管制官がリアルタイムで直接パイロットに伝達し、警告を与え





第2図 ドップラーレーダーの配置と10,000フィートの等ビーム高度図(〰〰)で示してある。中部および西部に見られる陰影域は、山岳などによるビームの遮蔽地域。

るシステムである。TDWRの監視半径は、降水強度が約230 km、風の場合が約90 kmであるが、種々の観測データは空港の内部だけで使用され、気象局との交換はない。オクラホマ空港に隣接するFAAの飛行センターは、航空管制のほかTDWRの訓練・研修及び部品の供給基地となっている。保守や障害復旧などは全てFAAの専門の技術者が行う自営方式である。

さて、NEXRAD展開の全体計画では、降水強度の監視半径460 km、ドップラー風の監視半径230 kmを持つ、ピーク出力750 kW、波長10 cmのドップラーレーダー161基(海外領土などを含む)を設置する。第2図はドップラーレーダーの配置と10,000フィートの等ビーム高度を示す(内陸の陰影部分はドップラーレーダーでは観測困難な空白域)。WSR-88Dの基本的機能は第2表に示した。1996年9月現在160基が引き渡され、うち129基が運用中である。展開年次と地域で注目されるのは、整備の優先順位をシビアストームの発生地帯と人間の居住地域から決めていることである。また、全体のうち約40基は軍と航空局が分担整備しており、グアムなどが該当する。また、気象局及び航空局のレーダー基地の建設を見ると、簡便な鉄塔仕様のタワーとレーダー機器庁舎で構成されており、経費の軽減を図っている。

WSR-88Dのデータは、誰でも電話回線を通じてパソコンによりリアルタイムで入手が可能で、種々の接続業者が活躍しており、そのためのソフトもある。

#### 4.2 自動地上気象観測システム(ASOS: Automated Surface Observing System)

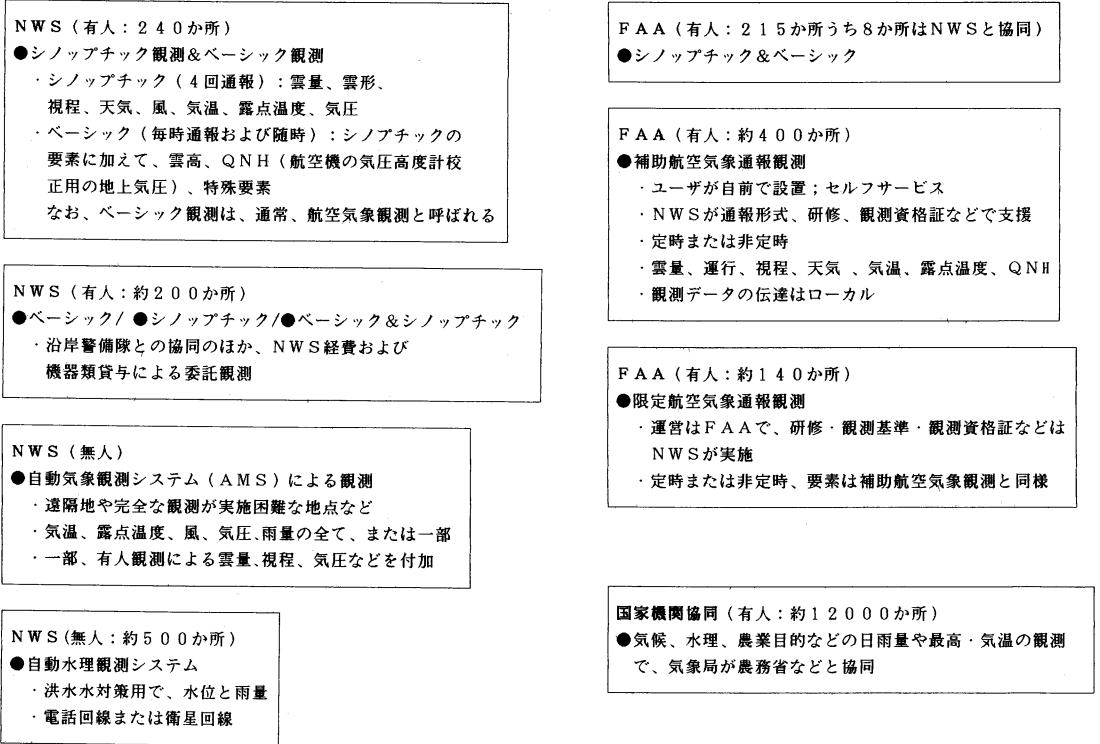
米国における気象観測に対する基本的考え方は、気

第2表 ドップラーレーダー(WSR-88D)の基本仕様

ドップラーレーダー(WSR-88D型)の基本仕様	
●レーダーのレンジ	反射強度: 460 km 速度: 230 km
●送信機	周波数レンジ: 2.7~3.0 GHz 最大電力出力: 750 kW 平均電力出力: 1.5 kW パルス幅: 1.6, 4.5~5.0 μsec サンプルレンジ: 250 m パルス繰り返し周波数: 任意 長周波数: 318~452パルス/sec 短周波数: 318~1304パルス/sec
●アンテナ	形式: Sバンド, 中央給電, パラボラ型 サイズ(直径): 9 m ビーム幅: 0.95度 利得: 45.5 dB 指示精度: 0.1度 方位角変化率(最大): 36度/sec (6回転/min) 高度変化率(最大): 30度/sec

象局が観測機器・方法・研修などの標準を保持し、それに基づいて関係機関との協力をを行うことである。米国の地上気象観測の全体組織は、第3図に示すように気象局、航空局、農務省などが関わって構成されている。これは近代化以前に対応するものであるが、有人観測が基本で、一部が無人であった。特に注目されるのは、航空局による観測が相当数あり、気象局が商務省に、また航空局は運輸省にと、それぞれ所属する省は異なるが、両者の協力が非常に密なことである。例えば、サンフランシスコ周辺の小さな地方空港について見ると、航空管制塔のスタッフは航空局の職員だが、同じ職員が気象局の貸与した測器で航空気象観測や通報も行っている。職員は気象局発行のライセンスを持っているという具合である。

さて、気象局ではこれまでは約240か所の気象施設で有人地上気象観測が行われており、およそ1,500人の職員が専任または兼務で従事していた。これらの観測はシビアウェザー時には繁忙となるが、この期間は当然警報などの作成や伝達に最も人手を必要とする。それが今度の近代化計画では、地上気象観測に要する莫大な労力を無くし、そのための人力を情報処理分野に投入する必要があるために、新たに全体で1,700か所にのぼるASOSを導入することとし、すでに整備中である。これを第3図で見ると、近代化計画では、気象局の有人観測(240か所)と航空局の有人観測(約200か所)部分が自動化され、ASOSに移行されることにな



第3図 米国の地上気象観測組織の概要。

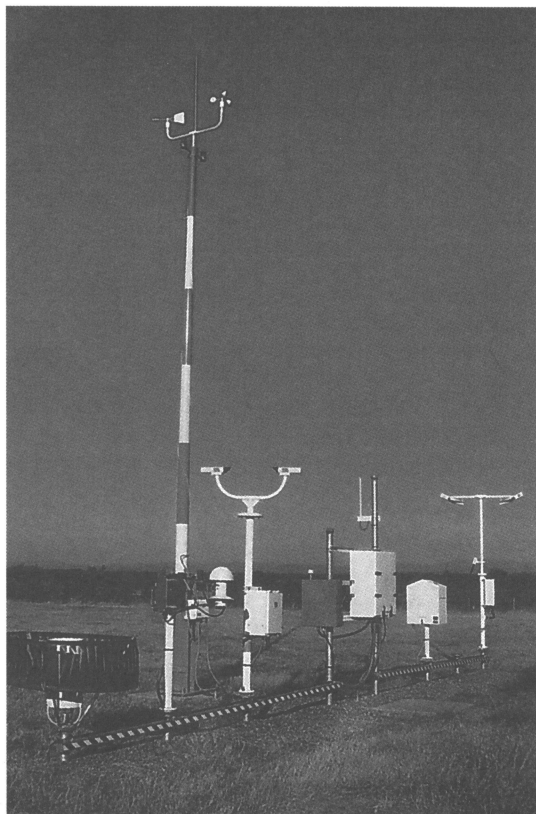
第3表 自動地上気象観測システム(ASOS)の観測要素。

要素	センサー	測定範囲	精度
雲高	レーザーシーロメータ	100~12,000フィート	±100フィートまたは5%のうち大
視程	前方散乱計	1/4~10マイル	1/4~11/4マイル; 10マイルで±2マイル
現在天気 降水強度	降水判別機	軽, 中, 重度の雨または雪, みぞれの検出	0.01または10%のうち大
着氷発生	振動体	1時間当たり0.01インチ以上の高まり	1時間当たり0.05インチの降水の場合99%
視程障害	露点温度, 視程計などから計算	霧, 煙霧を通報	視程が7マイル以下の場合
周辺気温	抵抗温度計	-80°F~+130°F	0.9°F~1.8°F
露点温度	冷却された鏡	-30°F~+86°F	1.1°F~7.9°F
気圧	圧力セル	16.9 Hg~31.5 Hg	±0.02 Hg
風向	矢羽	0~359°	±5° (5ノット以下)
風速	カップ型風速計	0~125ノット	2ノットまたは5%のうち大
降水量	加熱型転倒ます	0~10インチ/時間	1時間合計で±0.02インチまたは4%のうち大

る。既に第1期計画分約900か所のうち740か所に機器が搬入されている。

ASOS 整備の特徴は、3つの部局(気象局、連邦航

空局、海軍)の協同で行われていることと、設置地点が大部分空港である点である。ASOSの観測要素は、気温、気圧、風向・風速、雲量等で第3表にその概要



第4図 ASOSの野外部分。

を示す。自動的に観測が行われ、データは気象台および空港の管制塔に直接に伝達される。また、コンピュータで作られた音声により、この天気情報が自動的にパイロット向けに放送される。第4図はASOSの野外部分を示す。

観測要素と形態で特に注目されるのは、目視観測についての対応である。従来の目視種目の単なる自動化ではなく、新たな業務を睨んだ天気情報の選択や代替手段の追求がなされている点である。一番の特徴は、雲と視程の観測であろうか。雲の観測は、レーザー光線を使って雲底高度を計るシーロメータによる地上からの観測データと、気象衛星による宇宙からの観測データを併用して行っている。シーロメータは本来、高度約4,000 m以下の、しかもポイントでの瞬間的情報で、航空機の離発着向けに開発された機器であるが、その時間平均データにより雲の空間的広がりには換算している。また、視程の観測は前方散乱計を利用しており、観測ポイントにおける散乱計から得られる大気の混濁度と従来の人手によるものとの比較観測の結果か

ら、アルゴリズムが作られている。その他、50センチ程度の狭い空間を過ぎる雨/雪により、その間の赤外線が減衰することを利用した雨雪判別強度計により、降水が雨か雪かが区別され、それらの強度も観測される。また、露点温度は温度制御された鏡面に照射された光の反射(曇り)具合から観測し、雨が地表で凍りつく着氷の観測は、数十センチの小柱に常時励起されている固有振動数が着氷で変化することを利用している。従前の人手による観測とASOSによる観測との相違点やデータの利用上の注意事項などをまとめたわかりやすいマニュアルが、航空関係者などに配布されている。現実に米国の空港では、日本の空港での定時地上観測通報(METAR報)に対応するものが、順次このASOSに転換されている。なお、トルネードや雷雨あらしの常襲地域などでは、それらの現象を備考欄で通報するような人的な配置が強化されている。

実際の運用では、ASOSの視程値がおかしいので調べたら、散乱計の送・受信器の間にクモの巣が張られていて視程が悪かったが、その除去対策に良いチエがないこと。また、測器の保守は航空局との分担で、訪問した気象台では、たまたま航空局が担当のため保守の責任がないことから迅速な対応ができないなど、自動化の苦労話も聞かれた。

ASOSデータは部外の利用者にも提供されており、その品質管理は個々の観測所における測器の自己校正機能によるほか、数か所の気象中枢における広域的な品質のモニター、ワシントンの中核での品質管理の三段構えとなっており、さらに部外の個々の利用者からの無料電話による苦情の受付機能を持っている。別項で記述するように、ASOSの導入に伴う近代化により、約240か所の地方の有人の気象官署はその半数以上が無人工化され、118か所に集約される。

#### 4.3 ドップラーウィンドプロファイラー

米国およびカリブ海諸島には、現在約100か所のレーザウィンド観測サイトがある。それに加えて、マイクロ波を利用して大気中の風を3次元的に測定するウィンドプロファイラーと呼ばれる測器が、中西部15州の29か所で稼働中で、導入のための種々のテストが行われている。このウィンドプロファイラーは、大気中の数センチ規模の小さな乱れが、相対的により大きなスケールの流れとともに存在していると仮定して、鉛直および斜め上空方向に発射される400 MHz帯電波のドップラー効果により、3次元的に風を計るものである。測定は約15 km上空までを6分ごとに行って、

コロラド州の評価センターに送られる。そこで平均化処理を行い毎時データとして全米の気象官署へ送られ、予報の作成などに使われるほか、ワシントンの中核などで数値予報モデルや実況監視に利用される<sup>11</sup>。

#### 4.4 高度会話型気象処理システム

地方の気象台における現在の情報処理システムは、1970年代に整備された各種作業の自動化を目指したシステムである AFOS (Automation of Field Operations and Services) と呼ばれるミニコンシステムであるが、近代化計画で AWIPS (Advanced Weather Interactive Processing System) と呼ぶマン・マシン会話型の処理システム(高機能のワークステーション)へと転換される。予報官は、このシステムを利用して、莫大な観測データや予測モデルからのデータ抽出・種々の気象要素との重ね合わせ・予報との照合を行い、最も意味のある情報を迅速に表示することができる<sup>12</sup>。AWIPS を通じてワシントンの中核と地方の警報及び予報を行う気象台とが準リアルタイムでネットワーク接続される。さらにネットワークの一環として、AWIPS を通じて NOAA の種々の環境データが準リアルタイムで、NOAA データのユーザーや民間の気象及び水文サービスへ放送・配信される。定常的な情報やデータは AWIPS の NOAA-PORT と称される出口から、関係省庁や大学、民間気象事業者へ一方通行的に提供される。

#### 4.5 その他

米国では、落雷位置などを標定するいわゆる雷センサーが民間ベースで整備されている。気象局以外に他の省庁でも導入の計画があり、気象局を中心に評価が行われた。結局、連邦政府としては整備しないこととなり、気象局では民間から雷データを購入することにした模様である。

### 5. 近代化による新組織

近代化では、既に NEXRAD や ASOS の導入など、地方組織の戦略的な再編成計画に沿って、順次新しい形態への移行が始まっている。なお、ワシントンの中核組織でも一部変更が行われているが、ここでは主に地方組織を対象に記述する。

#### 5.1 新しい地方組織

気象局全体の人員総数はおよそ4,500人である。ワシントンには全国の管理部門のほか、後述するように、地方の予報サービスなどを支援するための統括的な組織として国立環境予測センター (NCEP: National Centers for Environmental Prediction) がある。これは近代化計画による支援センターの見直しの結果、従来の国立気象センター (NMC: National Meteorological Center) と地方に分散している種々の支援センターの役割を整理し、再編成したものである。

まずこれまでの地方組織を簡単にレビューし、それらがどのような思想で新しい組織に移行するかについて述べる (NOAA/NWS, 1985)。

近代化以前の地方組織は、州を単位としてその中に3つの階層の気象台が存在していた。これとは別に、州をまたいで水文・水理専門の気象台がある。これら地方組織は全国で約280か所である。

地方の気象サービスの中核となる官署は、州を基本として管轄する気象台 (WSFO: Weather Service Forecast Office) で、観測のほか、一般気象、海上、航空、森林管理(火災など)、農業などに関する予報などのサービスを行っているほか、警報サービスを行っている。全米のほぼ各州に1つあり、総数は52か所で職員は30人規模である。なお、カリフォルニア州やテキサス州のような大規模な州や人口の稠密な州には複数の WSFO があり、逆に一部の小さな州には WSFO は無く隣の州の WSFO が担当している。次に、WSFO の傘のもとに、州内に数か所の測候所 (WSO: Weather Service Office) があり、通常は自己の管轄地域に影響を及ぼす局地的なシビアストームについての警報サービスを行っている。全国で約200か所である。一部の WSO では限定的な予報や森林や農業気象サービスなども行っている。大部分の WSO では地上、高層、レーダーデータの観測・収集に携わっている。このほかに全国で約20か所の別種の測候所 (WSMO: Weather Service Meteorological Office) があり、役割はもっぱら気象観測の実施と通報で、一般予報や警報の任務はない。WSO や WSMO の1官署あたりの職員数は10名規模である。米国のこうした地方組織の階層構造は、担当している面積の大きさは別にして、奇しくも現在の日本の地方気象台、一部の測候所(観測以外に予報も行う)、他の測候所(観測/解説が主)という構造と同じである。

水文・水理サービスは、13の河川予報センター

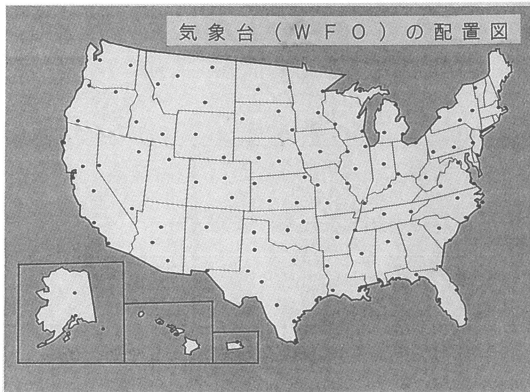
<sup>11</sup> 日本では研究用として大規模なものが京都大学の滋賀県信楽サイトで、また汎用型が気象庁の筑波施設で稼働している。

<sup>12</sup> 気象庁においてもほぼ同様の処理端末を整備中である。

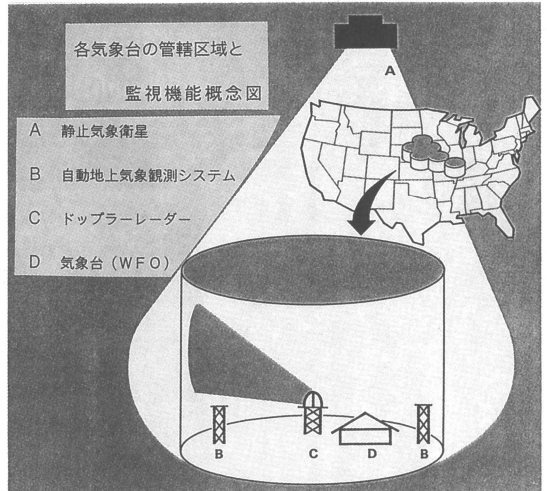
(RFC : River Forecast Center) があり, 州を超えて単一または複数の水系の洪水予報や河川の水利関連の予報が実施されている. このうち WSFO と同じ場所に立地しているのは半数以下で, 一般気象サービスとの連携が問題となっていた.

さて, 地方組織の再編成の基本戦略は, ① 州規模を新たに数区に区分し, その管轄域内の気象サービスを責任を持ってカバーする新しい気象台を設けること, ② 同時に, その実現のためにドップラーレーダーなど

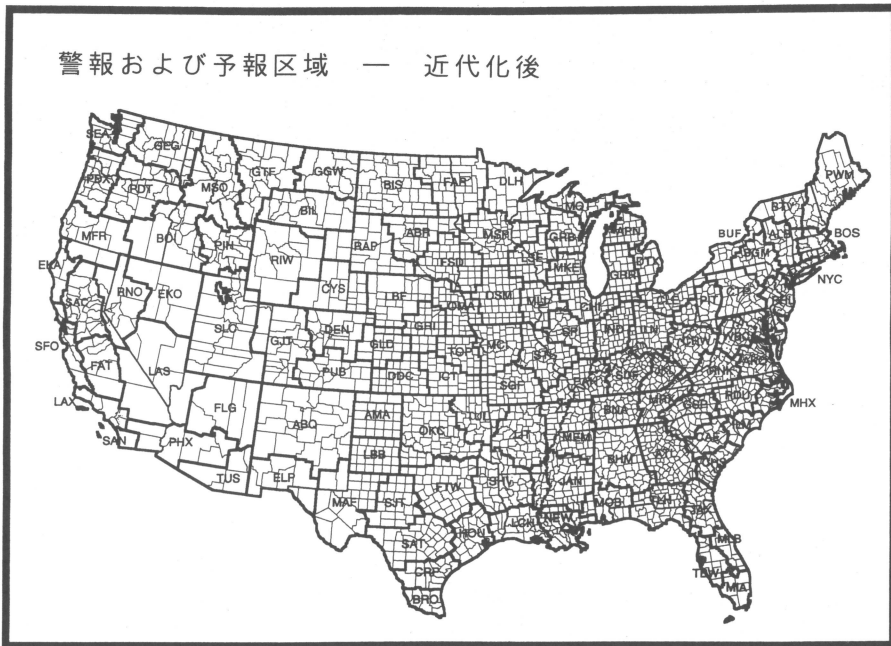
を新規に導入すること, ③ さらに, 上記の観測および限定的な予報や警報などを行っている官署の観測業務の自動化と上級官署への集約を行うことなどが, パッケージとなっている. すなわち新しい地方組織は, 上記の52の WSFO と200か所以上の WSO の中から選ばれた合計118の官署に, それぞれドップラーレーダー (WSR-88D) を付置して, 新たに気象台 (WFO :



第5図 気象台 (WFO : Weather Forecast Office) の配置図.



第6図 気象台 (WFO) での監視形態の概念図.



第7図 警報および予報区域 (太実線 : WFO の境界, 細実線 : 警報および予報の境界, 英大文字は各 WFO の略称).

第4表 標準的なWFOの職員配置表. GM, GSなどは日本の公務員の行政職や技術職などに対応.

標準的なWFOの職員配置表		
人数	ポスト名	職務グレードと等級
1	気象台長: meteorologist in charge	GM-1340-14/15
1	警報協同官: warning coordination meteorologist	GM-1340-13/14
1	科学・運用官: science and operations officer	GM-1340-13/14
5	上級メテオロジスト/予報官	GS-1340-13
5	一般メテオロジスト/予報官	GS-1340-12
1	水理サービス担当官	GS-1355-12/13
1	データ収集計画管理官	GS-1341-12
5	水理メテオロジスト	GS-1341-11
1	電子システム解析者	GM-0334-13
1~2	電子工学技術者	GS-0856-11
1	電子工学技術者 (洪水予報中枢が併設の場合のみ)	GS-0856-12
1	電子工学技術者 (自動気象観測システム: ASOS 担当44気象台 (WFO) のみ)	GS-0856-10
1	秘書	GS-0318-06

Weather Forecast Office; 以下, 新気象台という)として, 新しい管轄区域内の予報や警報などの全責任を持つ. 他の有人の官署であるWSOとWSMOの観測の機能は, 原則として自動化(閉鎖)され, 地上気象観測部分は前述のASOSへ組み入れられる. この再編成により, 地方組織はこれまでの三階層(WFSO, WSO, WSMO)から, WFOという単層構造になる.

この再編成は, 予報・警報などを提供する官署の倍増(予報官は職種転換などで増加させる)というビルドと観測の自動化などによる官署のスクラップの側面を持っている.

いずれにしても約150か所に近い有人の官署が最終的には看板を下ろし消滅する. 新気象台の配置図を第5図に示す. なお, トルネード常襲地域でASOSに組み込まれた官署の一部では, 有人による測器の保守のほかトルネードに対する目視通報の責務が残される.

## 5.2 新気象台(WFO)の管轄区域と人員配置

新気象台は, 気象観測衛星のデータはもちろん, 自前のドップラーレーダーにASOSなどの新しい観測手段で得られるデータ及びNCEPなどからの種々の支援情報に基づいて, 州をさらに細分した管轄区域内の予報・警報サービスについてのすべての権限と責任を持つ. 第6図に監視域と監視機能の概念図を示す. 従来の管轄区域の分割は, 地勢や気候学的な観点から, 例えば○○盆地, ××山麓地方などとしていたが, 新気象台は地方の行政の基本単位である郡(County)をいくつか束ねたものである(NWS, 1996). 第7図に新気象台とその域内の警報及び予報区域を示す. なお, 実

際の子報及び警報の最小単位は郡であり, 第7図では細実線で囲まれたジグソーパズルのような領域である. ちなみに新気象台はテキサス州などの大きな州では9か所, 小さな州では1か所である. 日本との比較でコロラド州をみると, 人口は約300万人, 東西約700km南北約400kmで, 日本の東北地方がすっぽり入る位の大きさである. 州の西半分はロッキー山脈に覆われ, 山麓や平原ではシビアストームが多く発生する. 近代化ではこの州全体を, これまでの6か所の官署組織から3か所の新気象台で受け持つ. 注目されるのは, 相当数の州で新気象台の管轄区域が州境を越えて(日本で言えば, 県をまたいで)設定されている点である. また, 近代化計画では予報および警報が郡単位となったことから, 相対的に郡の数が多く, 1郡あたりの面積が小さい中部から東部にかけてと太平洋側では, 予報サービスがきめ細くなる. 特に警報の運用では, 人口が稠密で社会活動の活発な地域に重点が置かれているように見える.

次に, 新気象台の人員配置の戦略を見てみよう. 近代化計画以前のメテオロジスト(予報官などの気象専門家)と呼ばれる職制の総数が約900人, そして気象技術者が約1,900人の体制から, すでに近代化の進捗に伴って両者の数が逆転に向けて動いた結果, 現在ではメテオロジストが約1,500人, 気象技術者が約1,200人となっている. 最終的には1,600人のメテオロジストと750人の気象及び水文・水理技術者への転換を目指している.

人員の標準的配置は, 新気象台あたり23人をベース

に、官署の管轄規模、予報の種類などに応じて増減が考慮されており、画一的ではない。最大で32人、最低で18人となっている。13の新しいRFCは、全て適当な新気象台に併置されて、一般気象サービスとの連携が図られる。当然、RFCが併置される所などでは予報官などが多い。新気象台の人員配置の特徴は、予報官チームなどが配置されている官署数をこれまでの52官署から118官署へ拡大したことのほか、いくつかの新しい顔を持っている。それらの顔は第4表に示す標準スタッフと任務を見るとわかる。

要員配置の1つの目玉は、各気象台に科学・運用官(SOO: Science and Operations Officer)といわれるスタッフを新しく設けたことである。その役割は、技術的統括とスタッフに対する科学的助言で、これは気象台の保有する全てのプロダクトを提供するサービスを行うに当たって、本来あるべき姿を追求した成果である。具体的には、研究面での新しい科学技術や技法に常に注目して、その成果を予報や警報サービスで実用化するための発議、主導、協同作業を行うことにある。また、SOOには、近隣の大学との連携やスタッフに対する訓練及び専門能力の開発が期待されている。この他、これまで観測に従事していた技術者の予報官などへの職種転換を意識した、前述の新しい観測機器類の保守・管理ポストや種々の新しいデータの品質管理ポストの新設などが注目される。

新気象台の現業体制の基本は、第4表から推察すると、1チーム3人(上級予報官、一般予報官、水理・気象技術者で構成)、全体で5チームから構成される約15人で行われる。この他、警報やエレクトロニクス担当などの技術者が配置されている。また、先に述べたASOS担当の技術者は、全体の約3分の1の官署にのみ配置されている(航空局との分担のため)。デンバーやオクラホマの気象台でも見聞したことだが、日本での総務課に相当するものが無く、1人の女性秘書が受付、文書の送受、超過勤務のとりまとめやワシントンのNWS本局へのコンピュータの打ち込み、諸伝票管理、業務電話対応などをこなしている。ただし、これは給料の自動振り込みや物品の購入形態の違い、上級官署の管理/支援システムなど米国固有の環境の中で行われていることに留意する必要がある。

### 5.3 予報官の研修

近代化計画の遂行には、予報官のメソ現象に関する解析・予報能力の具備が最も重要であり、またその背景として既存の予報官の大気物理学やレーダー気象学

についての知識の向上、さらに新たに行われる観測技術者から予報官への職種転換に際しての研修が必要とされている。このため気象局は、①現在の予報官に対する教育と研修、②実用的部門と研究部門との協同、③将来気象界に向かう大学の学生に対する教育および専門的知識の付与などを柱とするプログラムを提案し、これに応じてコロラド州ボルダーにある国立大気科学研究所(NCAR: National Center for Atmospheric Research; 大気科学研究部門を持つ大学の共同利用施設で、上部の運営機関UCARも併設)は、COMET(実用的気象、教育および研修のための協同プログラム)と呼ばれるパソコンを利用した自習/研修システムを開発した。ソフトはCD-ROMベースで、大気科学やレーダーなど殆どあらゆる分野をカバーしており、各項目毎に第一線の専門家による講義や写真・図表類がビデオで表示され、さらに各章の終わりごとに試験問題がある。受講者はクリックで答えると自動的に採点され、成績が悪いと、「あなたは第何章に戻り、再び勉強しなさい」などの助言がなされる。1課程あたりの学習時間は数時間程度である。COMETはNCAR所内での教室を利用した教育のほか、通信回線を介した遠隔地からの利用も可能である。もちろん単独機材としても使用できる。最近、外国機関での利用も促進されているようだ。気象局では、前述のオクラホマでの気象レーダーのような業務に直結した研修以外に、この研修プログラムも利用している。この他、特定の大学と連携した研修もなされている。

## 6. 気象予報の支援および警報の体系

ここでは新気象台(WFO)が行う予報サービスのための支援システム、警報の段階(階層)構造などについて述べる。

### 6.1 予報サービスのための支援体系

近代化後の基本的な支援の系列は、ワシントンの本局はじめ地方の数か所に置かれた支援センターと、実際に予報サービスを行う地方官署(新気象台)の2つの要素(階層)から成り立つ。新気象台は、以下に示すように支援センターからの種々の情報を基礎に、管轄域内の予報や警報などのサービスを行う。なお、新気象台の上部機関として、それらを業務的に束ねるため、東部、中部、太平洋地方など6つの広域的な地方管理中枢(日本の管区気象台に相当する)がある。

### 6.2 予報支援センターの役割と支援形態

ワシントンにある国立環境予報センター(NCEP)



が、気象局が全国で行なう種々の予報サービスの支援的役割を果たしており、各センターの行政組織上の元締めとなっている。NCEPは環境モデリングセンター(Environmental Modeling Center, EMC)を中心に、合計9のセンターから成り立っている。各センターは、全球規模や総観規模の大気現象、トルネードなどのメソスケールの大気現象、ハリケーン、波浪など、現象の規模とそれらの社会への影響を考慮して、担当すべき対象(現象)を分担している。

環境モデリングセンターは、日々の現業の核となっており、全球規模の14日以内の気象及び海洋の解析と予測、数値的気候予測を行い、他のセンターへの基礎情報の提供など中枢的役割を担っている。各(支援)センターの名称や機能などは以下の通りである。

- 水文気象予測センター (Hydrometeorological Prediction Center, HPC) : 7日間以内の水理気象
- ストーム予測センター (Storm Prediction Center, SPC) : 24時間以内の災害をもたらす気象
- 航空気象センター (Aviation Weather Center, AWC) : 2日間以内の国際・国内航空のための気象
- 熱帯予測センター (Tropical Prediction Center, TPC) : 5日間以内の熱帯気象
- 国立ハリケーンセンター (National Hurricane Center, NHC) : 5日間以内のハリケーン
- 海洋予測センター (Marine Prediction Center, MPC) : 5日間以内の波浪など
- 気候予測センター (Climate Prediction Center, CPC) : 2週間・毎月・季節などの気候
- 宇宙環境予測センター (Space Environment Center, SEC) : 3日間以内の宇宙気象

これらのセンターは、それぞれ担当の現象の推移を監視し、今後の見通しや予報とその解釈についての検討、必要な警戒体制とその根拠などを、チャートや平文で作成し、地方の気象台や関係の支援センターに伝達して、個々の気象台の実際の予報や警報サービスを支援している。これらの情報は「検討(ディスカッション)」と総称され、種類・内容・形式・他の支援部局との協同の方法・例文などが気象局のオペレーションマニュアルに事細かに記載されている。「検討」は予報作業の上からはガイダンス(支援資料)に位置づけられる。地方の気象台での実際の気象サービスは、予報官がこれらのガイダンスを基礎に、実況とモデルの相違の検出、予報則の適用などの科学的判断を行い、予報を行う(予報文の作成と提供)体系となっている。こ

のほか予報の難しい局面では、支援センターが直接に当該の気象台と連絡を取る。注目すべきことは、これら「検討」の内容は基本的には気象局部内の専門家向けのものであるが、同時に連邦航空局、連邦非常時管理局などの関連省庁、さらに民間気象事業者などにも伝達されており、それぞれの責任者が「検討」についての科学的理解の上に立って意志決定ができる仕組みとなっている。

さて、ワシントンのNCEPからの実質的な支援は、短期・中期・季節予報に関するものでは、12~48時間ガイダンス予報、3~5日ガイダンス予報、6~10日先までの見通し、30日間見通し、90日間見通しなどが発表される。その他、ある一定以上の降雨や降雪が予想される場合に量的予測が発表される。

他方、活発な対流やトルネードなどの局地的なシビアストームを対象とした「検討」や「警戒」は、ミズリー州カンザスシティにある上述のSPCが担当している。さらに、国内及び国際航空のための雷雨あらしや乱気流発生域などのガイダンスや予報、空域警報などの支援は、AWCが担当している。

ハリケーンおよび熱帯低気圧、高潮を対象とした「検討」のほか、「警戒」、「警報/注意報」の発表は、NCEPの中のTPCが組織上の権限を持っている。実務上はマイアミにあるNHCが大西洋と西経140度以東の東部太平洋を、サンフランシスコのセンターが西経140度~180度を担当し、180度以西の西部太平洋とインド洋方面はグアム合同台風警報センター(JTWC: Joint Typhoon Warning Center; 米国の空軍と海軍の合同センター)が担当している。

このように数個の支援センターが置かれているが、例えば強い対流現象である雷雨あらし、トルネード、ハリケーンなどは、各支援センターの担当する現象に関連することから、それぞれの情報が重複や齟齬を来さないように各支援センター相互の連携方法が詳細に規定されている。

次に、ガイダンスや検討の一般的な形態は、数値予報モデルに対する支援センターとしての見解と根拠、その信頼性のレベル、優先すべき事項など、各支援センターが有する全体的な気象学的知識が、簡明にとっても、いずれもA4版1ページほどの平文に整理されていて、非常にわかりやすく記述されている。

例を上げると、3~5日ガイダンス予報であるNCEPの「半球マップ検討(毎日1回発表)」をみると、5日先までの半球規模の見通しを、各種の数値予報モ



デルの今日までの経過、モデル間の差異、時間的な連続性などが議論され、複数の予測結果の中で最も実現すると予想される解の表示と、どういう根拠でそう判断したかが書かれる。また、NHCの「熱帯低気圧検討(原則1日4回発表)」では、ハリケーン予報の根拠、採用された客観予報技術、12, 36, 48, 72時間後の台風中心位置と最大風速、想定される警戒態勢が記述されている。ハリケーンの発達に關係する衛星の雲画像の特徴や風の鉛直シアなどが吟味され、結論が導かれている。さらに、72時間以内に合衆国の沿岸に上陸が予想される場合には、ハリケーンの強度が5階級指数で付される。ちなみに、階級1は1分間平均風速が33~42 m/secで、ビルディングには実質的な被害はなく、固定されていない移動式住居や支柱のない樹木に、海岸では高波や栈橋に被害が出る程度を表す。また、階級5は風速は70 m/sec以上で、多数の住居の屋根の全壊や倒壊が起き、海岸域では低階部分が大被害を受け、居住地域では大規模な避難が必要であることを表す。

ここではガイダンスや検討のほんの1例を紹介したが、こうした具体的な支援がトルネード、雷雨あらし、冬季のストームなど約15種類のガイダンスとして、部内はもとより関係者に広く提供されている。個々の例文を見ると支援センターの地方に対する支援の意味とその重要性、作成集団のプロ意識が伝わってくる<sup>13</sup>

### 6.3 気象警報の体系

警報等の情報提供の基本的考え方は、種々の現象により社会が受ける影響の度合い、現象についての予報精度や発現までの経過時間、さらに、被害の回避のための事前準備などを考慮して、国民に対して段階的に警戒を喚起し、適切な対策を促すよう意図されている。これらは、「多段階方式」と言われ、具体的には、以下のような数段階(階層)から成りたっており、一般に、時間的にはこの順に発表される。

「見通し(Outlook)」:見通しは、災害を起こし得る気象や水象が発達するかも知れないことの指摘である。これは現象の襲来に備える対策に多大の準備時間を必要とする者に対して、情報を提供することにある。

第1段階の情報と考えられる。

「警戒(Watch)」:警戒は、災害を起こしうる気象や水象の来襲の危険性が明らかに増大したが、なおその発生や場所、時刻などがはっきりしない時に使用される。これは公衆が種々の計画を実行に移す際に、十分な準備時間が得られることを意図している。

「警報(Warning)/注意報(Advisory)」:警報は、生命や財産に脅威をもたらす条件下で使用され、一般に、災害を起こしうる気象や水象が、現に起きているか、切迫しているか、あるいは発生する確率が極めて高い時に、発表される。「注意報」は明らかな不具合をもたらすか、または注意が実行されなければ生命や財産に脅威を与えかねない条件を対象とするものである。警報の次位と考えられる。

米国の警報はこのように実況的色彩が極めて強く、したがってハズレは少ない、むしろリードタイムが問題となる。また無視すればそれこそ命が危ない。

以上の各段階のほかに、警戒や警報の発表状況や避難呼びかけなどの「説明」がある。

第5表に、警報等の対象となる具体的現象と警戒の程度を示す(WMO, 1996)。特徴的なことは、予め警報級現象と注意報級現象が分けられており、したがってまず注意報、ついで警戒という階層構造ではないことである。また、「警戒」段階は、ハリケーンやトルネードなどの最重要な警報現象にのみ設定されており、同じ警報でもブリザードや砂塵あらしなどにはないことである<sup>14</sup>。

なお、第5表の警報欄には、空白および警報なしなどが混在していることから精査が必要である。

次に、「見通し・警戒・警報」などの作成・発表官署は、対象となる現象に依存しており、前述の支援センターと地方の気象台が分担している。ちなみに、トルネードなどのシビアストームについての「警戒」はSPCで行い、個々の「警報」は当該の気象台である。また、冬季ストームの「見通し・警戒・警報」は各気象台の責任である。ハリケーンについては、NHCなどの支援センターが「警戒」を、気象台が「警報」など

<sup>13</sup> 気象庁予報課では、「中央指示報」を作成し、札幌、鹿児島など11の地方予報中枢を支援しており、また各地方中枢は「地方指示報」を作成し、府県の気象台を支援している。「中央指示報」は同時に全国の地方気象台などにも伝達している。また、予報課、数値予報課、気候情報課では、各種の解説資料、マニュアルを作成している。

<sup>14</sup> 気象庁の警報・注意報の災害想定は、米国とほぼ同じであるが、運用面では異なり、大雨や大雪の場合、まず「注意報」を発表し、ついで現象の推移に応じて「警報」となる場合がかなりある。また、警報や注意報に先だって「低気圧に関する情報」、さらに警報の期間中に「記録的短時間大雨情報」などの補完的「情報」も発表している。

第5表 警報等の種類 (公共気象サービス; WMO (1996)).

現象	注意報	警戒	警報
ハリケーン		予想される場合	発生中/切迫している
トルネード		予想される場合	発生中/切迫している
強い雷雨あらし		予想される場合	発生中/切迫している
冬季あらし		予想される場合	○
ふぶき (ブリザード)			○
大雪			○
地ふぶき	○		
雪	○		
氷あらし			○
着氷性雨/霧雨	○		
冬季天候	○		
強風			○
風	○		
風低温	○		警報なし
砂塵あらし			○
風塵	○		
洪水/突発的出水	郊外/小河川		発生中/切迫している
極端な高温			○
熱	○		
濃霧	○		警報なし
火山灰	○		警報なし
煙	○		警報なし

を行う。「NOW」(後述)や「説明」などは気象台の仕事である。

## 7. 地方の新気象台(WFO)のサービスと職務の階級、勤務制など

### 7.1 気象サービス

近代化計画で118か所のWFOに再編成され、各WFOは前記のガイダンスの支援を受けて、管轄区域を対象におよそ以下のような予報及び警報サービスを行う。

(一般向け予報/警報等)

- ・州(State)予報：州域を対象とした48時間予報(1日2回)と48時間以降5日先までの延長予報(1日1回)なお、複数のWFOのいずれかが州全体の主導権をとるかは未定とのこと。

- ・地方(Zone)予報：郡を対象地域とする48時間先までの予報で、予報対象は、気象条件、降水の確率、最高・最低気温、風向・風速(1日4回)。予報結果は、複数郡が同じ予報となり得る。予報対象域の代表的な大きさは100km×100kmで、東部地方などではさらに稠密である(第7図参照)。なお、日本のこれに相当する予報は、いわゆる短期天気予報で、地域的広がりには県をさらに1、2に細分したもので、1日3回発表である。

- ・地域(Local)予報：都市やその郊外地域を対象とした予報で、48時間の詳細な予報。予報要素は地方予報と同じで、地方予報に基づいて作成される。

このほか、近代化による新しい予報として、ドップラーレーダーなどを武器とした「NOW」と呼ばれる新しい短時間予報が提供されている。これは急速に発達や移動する雷雨あらしなどに対して、向こう6時間内の変化のうち、特に最初の2、3時間程度に絞って予測を行うものである。これは「警報」とは別に発表されるものであり、予報文には現象に関して、何が・何処で・何時かを、明快な語彙と非技術用語を用いて、簡明に述べるよう強調されている。予報例を上げる。「午後7時50分オクラホマ気象台発表：午後7時45分にダンカン市近くにあった激しい雷雲は、ハイウェイ7号に沿って東に移動中。8時30分まで、ステファン郡の南部の所々では50マイルの突風、大きな雹と2～3インチの雨」。現象の強度や開始時刻とともに、終止時刻が述べられる。「NOW」は、激しい現象のほか、予報域内に降水がある場合や霧、重要な気象の変化がある場合にも発表される。

- ・気象警報等：一般には郡を対象に行う。

(火災予報)

5月初めから10月初めの間、午前および午後、総観的な概況、地方予報、延長予報(2～5日)、6～10

日の見通し、火災気象観測レポートなどを提供する。その他、関係庁からの要請に基づいて、野生動物の保護、薬剤散布、山焼きなどの目的のため、スポット的な情報提供を行う。

#### (農業気象サービス)

従来、応用気象サービスの一環として、いくつかの州で農業活動の実態に沿って、詳細な予報や注意報などが提供されていた。また、低温に敏感な果実などに対する低温の警報がカルフォルニア、フロリダ、テキサス、5大湖周辺など地域を限定し、かつ期間を限って行われていた。しかしながら、昨年からのこれらの個々のサービスは民間気象事業者に委ねられた。

#### (航空気象サービス)

米国は、航空が車と並んで主要な交通手段であり、定時運航が強く要請され、特にビジネスマンからは15分程度の遅延に対してもクレームがつくほどの社会である。したがって各飛行場で航空機の離発着時などの気象を予測する飛行場予報、および航空路上での雷や乱気流を予想する空域予報が極めて重要である。また、近年、着陸態勢にある航空機がダウンバーストに巻き込まれて墜落する事故も発生している。このため航空局は、気象局や大学と連携して、飛行場周辺のこうした擾乱の検出手段の整備(前出のTDWR、低層風観測網など)とパイロットに対する警報伝達体制の確立を目指している。米国では、前出のようにSPCが空域予報などの支援を行い、一般の各気象台が航空機のための飛行場予報も行っている。また、航空局の管制塔に対する情報提供を行っている。しかしながら、一般の気象台職員が直接に個々のパイロットに対してブリーフィング(気象状況説明)を行うことは禁止されており、ブリーフィングは航空局の担当となっている。ただし、特定の気象台では、ブリーフィングを行っている。

航空気象サービスの具体例をデンバー気象台でみると、国際および国内航空向けの飛行場予報の作成・修正・伝達、デンバー空港地域での航空機に影響をおよぼす強風、雷雨あらしなどの情報提供、航空管制塔への助言、航空局が設置している飛行サービスセンターに対する支援などを実施している。ちなみに、日本では、航空機向けの気象観測や予報サービス、ブリーフィングは、飛行場に立地する航空候候所などが、受益者負担の観点から「空港整備特別会計」で、一般会計の地方気象台の組織とは別枠で行っている。

この他、水文予報や海上気象サービス、大気汚染気象業務支援などが行われているが、割愛する。

## 7.2 職務階級と要請される能力

気象台長はじめ予報官や技術者など、各職種の責任範囲、必要な学歴や資格・経験、給与などは事細かく定められている。

気象台長には、個々の気象サービスに関する実質的な管理や職員の管理はもちろんのこと、特に外部との積極的な幅広い接触が要請されている。議会や州政府の議員やそのスタッフ、マスコミの代表者、協同関係にある軍、航空局、非常時管理庁、環境保護庁などの省庁、州などの自治体、さらには気象の影響を受ける重要な産業界などが挙げられる。また、学会や専門的な団体や市民グループも対象となっており、気象局のスポークスマンとしての側面が強調されている。「台長は、気象局の諸提案に対して、修正や追加を求めて反対を唱える人々のおよぼす極度の圧力にたびたび直面するだろうが、専門家精神と忍耐を持って当たるべし」と書かれているのは興味深い。気象台長には、気象及び水文業務に関連した理論と原理に精通することが必要で、一般的には大学の気象学コースの修士課程、または同等以上の経験が要請される。また、レーダー気象学についての基本的知識や日常業務で使用される種々のエレクトロニクスについての知識、計画の立案や人的管理についてのリーダーシップと知識などなど、非常に高度で広範な知識と能力が求められている。

一般の予報官(メテオロロジストなど)について見ると、要請される知識の守備範囲は極めて広く具体的である。①大気力学、メソ気象学、コンピューターによる客観解析・数値予報の利用を含む高度の理論気象学 ②予報現場における経験と訓練または数年間の予報経験と同等の高度な応用気象の知識 ③水文学および水理学のほか予報領域内の河川の諸特性の把握 ④飛行場予報・航空気象予報の作成、航空局のスタッフがパイロットへのブリーフィングを行うためのガイダンスの作成、航空局の管制塔や有人気球、グライダーなどの特殊な航空ユーザーに対する助言 ⑤ハリケーン、沿岸の洪水を含む海上気象の高度な知識 ⑥農業気象、火災気象などの応用気象の知識、⑦気象局のオペレーショナルな手続きと、気象・洪水予報や特殊目的の製品に関係する種々のガイダンスに関する深い知識、⑧ドップラー気象レーダーの複雑な機能の解釈と利用などを含む、データ処理に関する複雑な電子機器類に関する知識 ⑨効果的な文章や話術などのコミュニケーション能力などが、列挙されている。

上級の予報官は、予報当番チームのリーダーとして、

1名の一般予報官と1名の水理気象技術者を率いて業務を推進し、当番中にその必要が生じるかもしれない応援者の手配や緊急事態に対応し得よう業務の優先順位決定などの能力が求められる。

新気象台には、先に第4表に示したように、最低1人から数人の電子工学技術者と、1名の電子工学・システムアナリストが配置される。対象とするシステムは、ドップラーレーダー、高層観測システム、通信システム、ASOS、水理観測システムであり、これらの中から担当が割り当てられる。例えば、ドップラーレーダーが3000m級の山の上にあるコロラド州のグランドジャンクション気象台などでは、3名の電子工学技術者が配置されており、機器の防災・維持・テスト等に当たる。このうちASOS担当となる技術者は約20か所を受け持つ。

### 7.3 勤務制

勤務制の原則は、1日24時間を0時～8時（早朝）、8時～16時（日勤）、16時～24時（深夜）の3つの勤務時間帯に区分し、通常5班または6班による交替勤務でカバーしている。

予報官の交替勤務の基本ローテーション表に従って、ある1日を見ると、第1班が早朝を、第2班が日勤を、第3班が深夜を担当し、4、5班は明番や非現業勤務という具合である。特に、驚くべきことは同じ勤務が何日も連続することである。これを例えば第1班に着目して時間軸で見ると、日勤を連続で4日続けた後に2日の休み、次の日から早朝勤務を連続で7日続けた後に3日の休み、次いで非現業日勤が2日、日勤が3日、休みが3日、そして次の日から連続で深夜勤務7日、2日休み、非現業日勤2日となっている。合計この5週間が勤務の1サイクルで、1週間あたりの勤務時間に換算すると40時間である。この勤務制の利点は、担当予報官が1週間にわたって継続して現象をフォロー（予報とその検証）できる点であろう。日本の気象庁の標準の現業勤務制は、日勤（8時台～16時台）、翌日が夜勤（16時台～8時台）、明番、休み、再び日勤と4日サイクルが基本であるのと比べ大きな違いがある。この背景には、午前0時の交代が可能な住環境や車社会と、聞き漏らしたが、早朝勤務や深夜勤務を7日間連続するだけの体力とその方が人体の適応能力上合理的とする考え方、及びこのような勤務制を許す社会的慣習に支えられた米国ならではの社会事情があるものと思われる。

次に各時間帯毎の人の配置を見る。いずれの時間帯

も通常2人の予報官（総観気象担当とメソ気象担当）がカバーしている。昼間の時間帯にのみ、さらにシビアストーム担当、火災気象担当、渉外担当が加わる。夜間はまた2人になる。なお、近代化計画の標準配置表によると、この他に水理担当の予報官1人が付くように見える。

これらの配置は、社会活動の活発な昼間についての情報提供を重視するなど、業務の繁閑に応じた職員配置を当然視する米国流の現れであろう。さらに、予報官などの仕事の時間的密度についてみると、前記の種々の一般向け予報や警報、飛行場予報などとそれらの随時の修正、自己の気象台(WFO)の提供すべき「検討」の作成、ウェザーラジオ（後述）向けの毎時の対応などなど、カバーする仕事が多岐にわたり、また定型作業も頻度が高いため、仕事の時間的密度は極めて高い。

最後に、WFOの仕事の中で、現業班の勤務制度の中に「研修」というコマがあり、現業室に隣接した小部屋で実際と同様の機器や処理装置を利用しながら、「オン・ザ・ジョブ（実践的）」な研修が義務づけられている。日本の地方官署における研修が、新規業務の導入時を主対象としており、どちらかといえば調査・研究の側面が重要視されているのとは趣が異なっている。

### 7.4 気象情報の提供媒体

気象情報の一般ユーザーへの伝達媒体として注目すべきものは、各WFOが自ら放送するNOAAウェザーラジオ(NWR)であり、これは気象局の直営である。NWRは連邦政府の一員である気象局の正式な「声」であり、逆に聴取者からみると実質的に気象局または気象局のサービスそのものと認識されることから、最も重要な手段と道具に位置づけられている。NWRは、放送サイトから半径約60kmをカバーする160MHz帯のFMラジオで、24時間運用である。気象のほか、河川、海上の気象状況を一般および特殊なユーザーグループに常時伝え、さらに警報や警戒事項を提供するのが目的である。これらは予報官の肉声によりテープに録音され、毎時に更新され、5分おきくらいに反復放送される。予報官は主要地点の気象などの実況をモニターし、適切な天気概況などを作成し、警報が出されている場合は当然それを最優先させる。トルネードや雷雨あらし、突発的出水などが発生している場合は、頻繁に更新される。ドライバー、キャンパー、スキーヤーや釣り人達にも適宜注意が喚起される。米国本土で約350か所に設置されており、トルネードや津

波などに対する緊急警報用のシグナルの送信機能も持っている。このウェザーラジオという媒体は、広大な国土を持ち、車が主要な交通機関となっている米国ならではのシステムと考えられる。

ウェザーラジオと関連して、トルネードを発見したアマチュアグループが車で追跡し、時々刻々その状況をホットラインで气象台に伝え、予報官はそれらを情報に反映させる。彼らは民間天気偵察隊(SKYWARN spotter)と呼ばれ、気象局がそのネットワーク化を行っており、ホットラインの整備や種々のパンフレットを発行している。なお、近代化計画ではウェザーラジオについて何ら触れていないことから今後も継続されると考えられる。

気象情報の民間への提供媒体で、もう1つ紹介しなければならないのは、民放テレビの「ウェザーチャンネル」である。手慣れた愛想の良い気象キャスターが登場し、常時、気象の実況や予報などの解説を行う。内容は、キー局の支援の下、グローバル/全米/複数の州/市規模など階層的に行われ、非常にわかりやすい。異常気象時には警報や警戒状況が織り込まれる。内容は頻繁に繰り返され、適宜更新されるから、ウェザーチャンネルをひねりさえすれば常に最新の気象情報がある感じである。適宜、トルネードの成り立ちや防災上の注意点などの啓蒙、解説も挟まれる。当然コマーシャルも入る。

気象情報の提供は、これらの媒体のほか、各气象台から前述した新しい処理装置(AWIPS)を通じて関係者に行われている。

#### 7.5 气象台のサービス業務の優先順位

観測機器や通信・情報処理装置が障害の場合、また予報官などが事故に遭遇した場合などにどのように対応すべきかの、いわゆる一種の危機管理が文章化されている。これら障害時の業務を律する優先順位は、第一に人命の保護、次いで財産の保護、次いで国家の経済と福祉の増進となっており、シビアウェザー及び洪水に対する警報業務が最優先に位置づけられている。優先度の具体例をデンバー气象台でみると以下のようになっている。

①非常に高い業務…警報の作成と伝達；シビアウェザーや洪水が起きつつある、あるいは起こっている状況下で、支援センターや防災関係機関との連絡；前述の偵察隊やホットラインなどによる実況の受領；レーダー監視；航空及びシノプチック観測；河川および降水データの収集と伝達；警戒の伝達

②高い業務…高層観測；飛行場予報の更新と中継；火災予報の作成と伝達；地域・地方予報の作成・伝達；冬季ストーム警報の作成と伝達

③その他の業務…州予報の作成と伝達；その他の予報の作成/伝達；気象概況の作成/伝達；報道機関電話への応答；一般電話への応答

④低い業務…月報；過去データ照会への文書回答；学校などでの講演

次に、機器類の障害についての優先順位は、①情報処理端末など、②ドップラーレーダー、③NOAAウェザーラジオ、④風観測装置、⑤レーザービームシーロメータの順となっている。

これら業務の優先順位が競合する場合の判断及び超過勤務や応援者の必要性の判断は、当番者の裁量に委ねられており、手当の支給や代休が保証されている。業務の優先順位で特に注目されるのは、電話応答についてで、切迫した現象のレポート受領は極めて優先度が高いが、報道機関や一般からのいわゆる問い合わせは、最下位であること、また定時的な地上観測や高層観測の現業は、相対的に優先度が低いことである。

#### 7.6 非即時データの提供原則

業務の優先度と関連して、气象台の行う過去の観測値などの非即時的データ提供についての政策に触れておこう。まず、何人に対してもデータの複製(コピー)業務は、副次的である。また、非即時データについての電話による照会には応じないこと、さらに、非即時データの照会は来訪または郵送によることが原則となっている。コピーは有料が原則であるが、合計費用が2ドル以下の場合には請求を控える。連邦、州政府などからの照会、コピーが1回だけの場合や1回15分以下の照会、さらに空き時間帯に処理可能な非営利団体からの照会は無料である。コピー料金は1枚0.5ドル、証明は1件3ドルなどとなっている。10ドル以上の代金は小切手で支払う。これらの処理も前述の秘書の仕事である。

#### 8. あとがき

昨年(1996年)の10月末に米国の中西部から西海岸を訪れ、テレビや新聞の気象情報に接しながら1週間に渡ってドライブし、途中コロラド州のデンバー气象台や近代化で新气象台に改組される同州のグランドジャンクション气象台などを訪れ、先に述べたAWIPS処理システムやASOSなどを見学した。そこにはもはや有人観測の露場はなかったし、ASOSの威

力を垣間見た。また、現業室では、数人の予報官が大きなドーナツ状の机の内側に座り、互いが近くで肩を接しながらワークステーション上で情報を共有しながら、テキパキと作業を行っている光景に接した。近代化への移行が着実に進んでいるとの印象を得た。

米国の気象サービスについて、近代化計画を軸にできるだけ全体像を、可能な限りデータに基づいて記述することに努めたが、バランスを欠いている点や不正確な点が多々あることをお詫し願いたい。米国の近代化計画の推移は、今後の我が国の気象サービスのあり方を考える際にも示唆に富む事柄も多いと思われる。

筆者は、近代化計画の背景や記述において、計画自身の策定時期がおよそ10年前であること、主として気象局の文献によったことなどから、新しい技術の取り込みの側面を強調し、予算や人員の圧縮の要請などについては陽に触れなかった。しかしながら、近年、米国議会では財政赤字の削減策が大きな課題となっている。特に、最近では気象局に対する予算の削減などが行われ、著名な学者や気象関係者がNOAAに削減の見直しを求めているなどの動きがあり、今後計画の手直しなどがあること、近代化計画が技術論のみでは進まない点に留意する必要がある。ちなみに、米国気象局では過去3年間で予算額を10%削減し、人員を200名整理したとのことである。そして、冒頭に述べたように今後の方針をめぐる対立からフライディ局長の更迭にまでおよんでいる。

なお、本稿では民間気象予報やインターネットの利用については触れなかった。

最後に、近代化計画やオペレーションマニュアル類を提供していただいた米国気象局の関係者に感謝の意を表す。図表類はこの中から掲載した。また、貴重な情報や助言を頂いた新田尚氏にお礼を申し上げる。

#### 参 考 文 献

- 今木 順, 1996:平成8年度の気象庁組織再編成の概要について, 天気, 43, 523-525.
- Crum, T. D. and R. L. Alberty, 1993: The WSR-88D and the WSR-88D operational support facility, Bull. Amer. Meteor. Soc., 74, 1669-1687.
- Friday, E. W., 1994: The modernization and associated restructuring of the National Weather Service: an overview, Bull. Amer. Meteor. Soc., 75, 43-52.
- NOAA/NWS, 1985: Operations of the national weather service, January 1985 edition, 1-237.
- NOAA, 1989: Strategic plan for the modernization and associated restructuring of the National Weather Service, 1-24.
- NOAA, 1992: National implementation plan for the modernization and associated restructuring of the National Weather Service, fiscal year 1992, annual update, 1-56, Appendices A-E.
- NWS, 1996: National Weather Service operational manuals, C11, C12, C21, C40, C41, C43, C44, C45, C47, C63, C64, D06, D07, D20, D21, D22, D30, D51, D60, D61など(逐次差換え式).
- WMO, 1996: A summary of US national service criteria for issue of weather watches, warnings and advisories, Guide to public weather service practices, Appendix 3, Table 4.

## Recent Changes in the Meteorological Services of the United States of America

Takehiko Furukawa\*

\* Forecast Division, Forecast Department, Japan Meteorological Agency (Present affiliation: Administration Department, Sapporo District Meteorological Observatory, Sapporo 060 Japan).

(Received 31 March 1997; Accepted 25 September 1997)