



## 気象観測と情報処理\*

山田 三朗\*\*

### まえがき

昭和の初めまでは研究官庁的色彩が強く、文部省に属していた気象台が、そのごの交通関係への気象情報提供の必要性増大により運輸省所属となった。

そして、近年の気象情報に対するニーズの多様化と高度化は気象庁に、地球物理学的諸現象を観測し、そのデータを処理して、それらの情報を提供することを主任務とする情報官庁の性格を与えている。

すなわち、気象庁は災害の防止、交通の安全、産業の興隆、公共の福祉のために、本来の大気物理学的现象の気象はもちろん、海洋や陸水を対象とする水象、地震、火山、地磁気、地球電気等を対象とする地象等も含む地球物理の各分野にわたる全国ネットによる観測と、その成果およびその成果に基づく現象の予想、並びにそれらの調査、統計結果などの諸情報を作成・提供することを主な業務としている。

したがって、情報化時代の気象観測は大量のデータの迅速な最適処理によって、情報としての効用を高める必要がある。また、1970年のローマクラブによる人類の危機レポート「成長の限界」や1972年のストックホルムにおける人間環境会議「かけがえのない地球」等におけるような発想からすれば、世界の1/1400の面積で、1/20のエネルギー、すなわち、世界平均の70倍に当るエネルギーを消費している日本としては、大気や水等の現象を国民の貴重なエネルギー資源としてとらえるべき時代となってきた。

したがって、サンシャイン計画等により水力・日射・風力・波力・潮力・地熱がクリーンエネルギーとしての重要性を持つようになり、その開発のための基礎資料として各種気象統計資料等のニーズも高まってきている。

その他、核爆発実験や原子力平和利用に関連しての国民の環境保全のための基礎資料として、大気および

海洋の放射能観測、あるいは地球的規模の気候変動や汚染に関連しての大気および海洋のバックグラウンド汚染観測資料等も重要性を増してきている。

このため、気象庁はこれら目的別に観測される各種の多量のデータを迅速に集信し、処理加工して、適時に適切な情報としてユーザーに提供しなければならぬので、観測業務における情報処理方法等についても従来から種々検討されてきた。

たとえば、気象値のパンチカード統計は1947年ごろから米軍機材を用いて始まり、電算機の発達とともに1959年には早くもIBM 704を気象庁に入れ、予想天気図作成や気象統計に使用し始めた。その後、計算量の増大、高速化のニーズに伴って次第に電子計算機を大型化し、気象庁の各種業務に活用するようになってきた。

すなわち、現在では数値予報および諸統計用の大型電子計算機を始め、気象資料自動編集集信のための電子計算機、1300の地域気象観測所観測値の集配信処理用電子計算機、静止気象衛星関連業務用（データ処理用、追跡管制用）各種電子計算機、あるいは地震記録自動処理用及び地震による津波の予報用、波浪計算用、潮汐計算用、地磁気データ処理用、研究用等多くの部門でのデータ処理用、情報作成用、伝達用等に各種の電子計算機と通信回線等が利用されている。

そこで、気象庁の各種観測種目別に、その情報処理の概要を簡単に記して参考に供したい。

### 1. 観測の種類別情報処理概要

#### (1) 地上気象観測とデータ伝送および統計処理

昔は気温・湿度の観測も露場内の百葉箱中にセットされた乾湿球のガラス製温度計を観測時ごとに読みとる方法で行われたが、現在は二重シェルター付の白金抵抗温度計と塩化リチウム露点計を用いた隔測温湿度計により、地上1.5mの空気を6m/sの流速で吸入して連続測定され、室内でアナログ記録するとともに、デジタル伝送もなされている。

\* 情報処理学会第17回全国大会招待講演（昭和51年11月20日）

\*\* 気象庁観測部副課長

雨量計も貯水型から転倒ます型に変わり、全日射計もロピッチ式から熱電堆式に変わるなどし、風向・風速等とともに地上気象観測装置と称するパネルに記録部・指示部が収納され、観測機の傍で読み取りや監視が容易にできるようになっている。

これらの観測値は ADESS (Automatic Data Editing and Switching System) と称する気象資料自動編集・中継装置により全国的に集配されるとともに、国際的にも高速回線で各国に配信されている。このため、ADESS は 50 BPS の低速から 4,800 BPS の高速に至るデータ回線やアナログあるいはデジタルのファクシミリ伝送回路等の各種の回線が接続されており、取り扱われる情報の内容や処理の形成も極めて多様である。

すなわち、ADESS は世界の気象データ交換網における主幹線の中核としてワシントン・メルボルン・北京等と結び、オンライン・リアルタイムの 24 時間年中無休の運用となる。このため万一の事故の場合も代替機器による処理ができるよう二重化し、自動的に切り換えがなされ、電源・空調も二重化してある。その取り扱いデータ量は FAX 以外で受信 6,380,000 桁/日、送信 25,480,000 桁/日に及び、なお増加中である。

一方、それら観測値は日表、旬表、月表、年表等として大型電子計算機により各種統計がなされ、印刷物として公表される外、その資料は MT としても保存され、データバンクの機能ももち、一般の利用に供せられる。このため、昔の各種原簿、諸報告作成のためのソロバン等による業務量を軽減し、省力化・迅速化・能率化が進んだが、まだ雲の観測や大気現象の観測などのように機械化の困難な、すなわち気象学の知識をもった観測者が気象情報としての価値判断をなし、現象の実態を正確かつ簡単に明瞭に表現して利用者に情報伝達すべき観測部門が人手を必要としている。

#### (2) AMeDAS (Automated Meteorological Data Acquisition System)

日本は集中豪雨のような局地的異常気象が多く、毎年多大の生命財産が失われている。しかし、これらの局地的異常気象はそのスケールが数十 km、その寿命は数時間といった規模であるので、全国約 150 の気象官署のネットだけではつかまらない場合もしばしばあった。したがって、その現象のスケールにあった密な観測ネットによる密な観測通報が必要であるので、気象庁は従来から甲種、乙種、丙種、丁種、農業気象観

測所といった目的別の委託観測所を展開してきた。

しかし、本職を持っておられる部外の方々に深夜の強雨中における観測と通報のような大変な仕事を願うことは無理が大きかった。

そこで、15 年くらい前からこれら観測所の無人化・テレメータ化を計画してきたが、全国 1,300 もの観測所からの毎時資料を無線や専用線で集信することは莫大な経費を必要とするために当時は実現できなかった。それが 1971 年の電気通信法の一部改正により公衆電話回線をデータ通信に利用できるようになったので、専用線の約 1/50 の経費でこの多量のデータの集信がリアルタイム的にできるようになり、日本電信電話公社の協力と相まってこの計画が一挙に実現する運びとなった。

すなわち、このシステムは全国におおむね 17 km 間隔で約 1,300 の雨量観測点を、またその内の 840 地点 (約 21 km 格子) は雨の外気温・風向風速・日照時間も測定する 4 要素観測点とし、おおむね等密度のネットとして展開した。そして、それらの毎時間値を東京の AMeDAS センターに公衆電話回線で集信し、電子計算機により各種の処理加工をして、それぞれの利用官署に最適な形の編集と表現により、配信資料の多い官署へは 1,200 BPS、少ない官署へは 200 BPS の気象専用線で配信している。また必要な時は必要な観測所の毎十分間値や過去の時系列データ、特定時の各地の実況値、あるいは隣接地方の実況図等が照会により受信できるよう、各種のプログラムが作成され、無駄なく有効に必要な資料のみが受信できるようにしてある。

なお、公衆電話回線を利用する以上話中は避けられないが、話中の場合は 3 回まで繰り返し呼び出すようにしてあるので話中率の月平均は 0.1% 以下である。また、信頼性・確実性を高めるため、センターでの本体装置はデュプレックス構成とし、周辺装置も可能な限り二重化を図り、端末のデータ宅内装置も現用と待機用の 2 台を併設してある。

もちろん各種の日報・旬報・月報等も各出力ケ所別に編集出力され、統計資料作成の省力化・能率化が図られている。

このシステムには現在積雪深計等も加える計画が進んでいるが、いずれにせよ従来の委託による遅くて不確実な、その上少ない入電に比べ、その確実性・迅速性・省力性が格段に改善され、注意報・警報等の適時適切性に大きな寄与をなしつつある。また、4 要素の

キメ細かな実況の情報提供ができるので、大気汚染や霜害の対策あるいは釣などのレジャー用情報としても次第にその効用を高めつつある。

### (3) RADAR (Radio Detection and Ranging)

日本の異常気象は台風を始め豪雨も豪雪も海上から侵入してくるといえる。すなわち、周囲を海で囲まれた日本では、その周辺の海上で蒸発し上昇した水蒸気とその凝結の際の潜熱が豪雨雪や暴風の主要原因となっているので、その周囲の海上を含めて常時監視しなければ異常気象の急襲に備えることができない。

そこで、周囲の海上も含めて3次元的に連続監視が可能なレーダーが、この目的に必要な測器として1954年から導入され、次第に全国に展開され、10年以上の古い機械は更新されて、現在20台の気象用レーダーが日本周辺の400~800kmの海上も含めてカバーし、常時監視体制をしいている。

したがって、レーダーは前節のAMeDASおよび後述の気象衛星とともに、台風や集中豪雨等の常時監視体制におけるカナメの3本足をなしているので、気象庁はこの3者の整備強化を最重要な柱として押し進めつつある。

すなわち、日本のレーダーネットは世界一であるが、現在はレーダーの映像を観測者が30分以上観察してスケッチ図とし、それをレーダー伝送用FAXで全国の官署に平常時は3時間ごと、異常時には毎時送面している。このため、マンマシンの手法の長所もあるが、即時性では不十分である。レーダーは変化の激しい寿命の短い雨雲の反射映像を観測しているのだから、リアルタイム伝送による常時監視が望ましい。そして、ブライディスプレイによるグレイスケール(エコー強度を階級別に色別表示)の静止画像として各地の予報官が予報機の傍でいつでも現況が見られるようにすべきである。

そこで、各レーダーサイトにミニコンをおき、レーダー映像をデジタル化して、デジタル伝送によりレーダー情報が安く早くひんばんに得られるようにしたい。このため、現在グラウンドエコーの除去技術が気象研究所で開発されつつあるが、その技術開発後2km格子ごとの空間平均あるいは時間積分したエコー強度をデジタル伝送すれば、全国の20サイト分を大型電子計算機により合成図にしたり、その他の高度な情報処理が迅速かつ容易にできる。その合成図は全国的な天気図との対応解析や、長距離飛行の航空気象情報等として有効であるばかりでなく、その合成図を

初期値とし、そのエコーの盛衰を考慮して、700mb(約3,000m)の下層風等で流し、AMeDASの地上実況による修正もしながら大型電子計算機による短時間雨量予想図等をひんばんに作ることができる。また、各サイトの2km格子によるデジタル伝送により詳細なレーダー情報提供も前述のようなブライディスプレイにより可能となる。

かくて、レーダー情報のデジタル化、コンポジット化、プログノ化等の電子計算機処理により、3~6時間のキメ細かな短時間予想図を1~3時間ごとに作成配信すれば、近年ニーズの高まっているキメの細かい短時間予報を客観的に高い精度で、ルーチンに早く出すことができるようになる。現在このレーダーのデジタル化と関連の計画を推進中である。

### (4) 気象衛星観測

地球大気の物理的性質を客観的に解析するためには気象観測所が一樣に分布していることが理想的であるが、大洋や砂漠などが地球上の70%を占めているので、観測所を全球的に等密度で配置することはできない。

そこで、赤道上約36,000kmの上空に気象衛星を打ち上げ、24時間周期で回転させると静止衛星として同一地域を上空から連続して監視することができ、かつ衛星を通じて気象観測資料の収集や雲の写真の送信が効率的にできる。

このため、日本とソビエトおよび欧州宇宙研究機構が各1個並びにアメリカが2個の計5個の衛星を赤道上に等間隔で静止させ、極軌道衛星とうまく組み合わせ地球をくまなく観測することになった。

これら衛星には可視と赤外の放射計が搭載され、半径6,000kmの範囲における昼夜の雲分布と地面・海面・雲頂の温度の観測ができる。また、太陽から放射される太陽プロトンを観測し、太陽活動を推測し、気候の長期変動の研究資料とする。なお、このデータの解析により雲の高さ、地表の積雪、海水、上層風の状況を推算することもできる。

したがって、この計画には次の施設が必要である。

- ① 指令資料収集局: 衛星と電波の送受信を行う窓口で、衛星からの観測信号や衛星中継による船舶等の観測資料を直径18mのパラボラアンテナで受信したり、衛星に各種の作業を行わせる指令を発する。
- ② データ処理センター: 指令資料収集局で受信した観測信号をマイクロ中継回線で受け、この大

容量電子計算機で処理して利用できる資料とする。また、衛星に気象観測などの仕事をさせるための各種指令を作る仕事をする。

- ③ 通報局：船舶、パイロロケット、離島などに設置し、衛星からの呼び出し信号を受けて、観測した結果を衛星へ送信する仕事をする。
- ④ 利用局：気象衛星中継で送信される雲の写真の16階調や4階調の模写電送信号を受信し、利用する。
- ⑤ 測距局：指令資料収集局から衛星中継で発信される電波により、衛星と測距局との距離を測る。3局のデータを用いるので正確な位置が求まる。
- ⑥ 追跡管制局：衛星を追跡し、その姿勢や位置の信号を受信し、姿勢の傾きや位置のずれ等を修正する。
- ⑦ 追跡管制センター：追跡管制局で受信した衛星の姿勢や位置に関する信号を電子計算機で計算処理し、衛星の姿勢を直したり、位置を修正したりする指令信号を作成する。

このように衛星観測では特に各種の大型電子計算機による情報処理が行われる。

#### (5) 高層気象観測

地球大気の解析には地球表面の気象観測だけでは不十分で、少なくとも地球を取りまく上空数十kmの厚さの大気の全層の観測資料が必要である。

このうち上空30kmくらいまでの気圧・気温・湿度を測る方法としてはラジオゾンデが約40年前から使用されてきた。これは大型気球にそれらのセンサーと電池、発振器、アンテナ等をつけて飛ばし、その飛揚中の観測値を地上で受信する方法である。上空の風向・風速は同様な気球に指向性の電波を発振する装置をつけて飛ばせ、その気球をパラボラアンテナで自動追跡させれば、その気球の流跡線により各高度の風向風速が求まる。これらの計算も現在は人手による作図から算出しているが、近い将来電子計算機による自動化・省力化が期待される。

これらの高層観測点は全国に18地点あり、また露点温度や放射・オゾン・大気電気等の垂直分布観測のための特殊ゾンデ観測点やパイポール（気球の光学的追跡）観測をする6地点等もある。

なお、それ以上の高空では水素やヘリウムをつめた気球が低圧のため膨脹して破裂してしまうので、ロケットを打ち上げ、それらセンサーを指定高度から落下傘により降下させ、これからの発振電波を地上局で受

信することにより観測している。日本では岩手県の太平洋岸にロケット観測所があり、重さ約70kg、長さ3.3mのロケットを約60kmの高度に上げて観測している。これらの観測値は前述のADESSにより各国と交換され、気象庁も北半球を主としたデータを電子計算機処理して高度別の各層天気図等を作成し、地球大気の立体的解析資料として、短期や長期の予報あるいは航空路決定等に利用している。すなわち、予想天気図作成はこれら高層観測値の電子計算機処理が主体をなしている。

#### (6) 航空気象観測

最近の20年間における航空交通の発達は著しく、それに伴う航空の安全性、定時性、快適性、経済性確保のための気象情報のニーズも増大し、現在66の空港に航空気象台、航空測候所、空港出張所がおかれ、気象情報の提供が実施されている。また、丘珠、東久留米、奈多、那覇の4航空交通管制部にも気象庁出先の管制気象課をおき、航空路および空域の気象情報提供を行っている。

特に空港では離発着時に航空機事故の大部分が起きているので、航空気象観測では特に雲底高度と視程が重要で、シーロメータやトランソミッソメータといった特殊測器が用いられている。また、風向風速およびしゅう雨・しゅう雪・雷などの大気現象も離着陸に大きく影響する。そこで、それらの気象値が特別観測の基準値を前後する場合は、その都度観測通報することになっており、多い日には200回以上もの通報がなされることもある。

すなわち、各空港には最低気象条件が定められ、それ以下の悪気象では離発着が禁止されるが、それまでに悪化しなくとも悪気象は事故の原因となる。特に下層風シャワーや横風あるいは乱気流が事故の原因となることがあるので、下層風シャワーや斜視程の音波レーダー等を用いたりモートセンシングの測器開発も望まれているが、これらの観測値がすぐ処理され、管制官や飛行中の機長に迅速・簡明に通報されねば効用が低い。そこで、空港での観測測器の自動化、特にデータの処理とその情報の伝達、ディスプレイ法の開発が必要である。

なお、飛行中の航空機に対してはAEIS (Aeronautical Enroute Information Service) といった計画により航空気象情報やNOTAMが放送および航空機との交信により伝達されることになるが、空港出張所等における気象情報提供についても全国中枢における大

型電子計算機を用いた最終製品型の予測資料等を配信することによって強化充実に検討が進んでいる。

#### (7) 日射観測

石油を主とする化石燃料は近い将来欠乏するであろうし、原子力発電も現在の軽水炉では核燃料の1%足らずしか利用されず、一方再処理工場や新型転換炉の建設も余り進まぬ現状では、核燃料サイクルにより核燃料の有効利用ができる高速増殖炉の実用化もなお、当分先になると思われる。また、これらには公害問題や核アレルギー等の諸問題がある。

このため、クリーンな太陽熱発電や太陽光・水力・風力・波力・潮力・地熱等の各発電の開発が急がれるが、それには各種の気象資料が入要である。したがって、直達日射、全天輻射、日照時間等の資料のニーズも高まっているが、直達日射における大気湿度や透過率の計算においても、また日本がアジア地区の放射センタとしての任務によるそれらデータの処理においても電子計算機による能率的な情報処理を必要としている。

#### (8) 大気バックグラウンド汚染観測

地球大気の復元力をこえて化石燃料が消費されると、地球大気の汚染は加速度的に進み、遂には地球上の生物が死滅するようになるかも知れない。このかけがえのない地球を人類生存の場として守るためには、地球の大気や海洋の人間による汚染を、その復元力の範囲内に抑えなければならない。

この制限値を求めるための客観的資料を得るためにWMO（世界気象機関）などはしばしばバックグラウンド汚染観測の開始を各国に要請してきた。

このため、わが国も局地的汚染の影響のない大気の組成を連続観測することにより、地球大気の汚染の実態とその経年変化を知り、気候変動と人間活動による大気汚染との因果関係を確認して、大気の浄化能力を評価すべく、本州におおむね700 km 間隔で3地点の地域観測所を、また地球上で十数地点が予定されている基準観測所の一つを小笠原諸島中に計画している。その他観測船による海水のバックグラウンド汚染観測も実施されており、これらの多量のデータの処理および観測記録に電子計算機が利用されている。

#### (9) 放射能観測

国民の環境保全のための資料として気象庁は全国ネットにより、降水中、大型集塵器による浮遊塵中、大型水盤による降水降下塵中、観測船による海水中、放射能ゾンデによる高空大気中等の放射能観測を実施し

ている。また、内閣の放射能対策本部のメンバーとして1976年の中国による4回もの核実験においても密な臨時観測を実施し、環境衛生対策上必要な情報を提供した。

一方、日本は世界の4放射能データセンターの一つとしての資料収集と世界センターとのデータ交換等を実施しており、気象研究所においても核種分析等による各種の研究を行っているが、これらのデータ処理にも電子計算機が役立っている。

#### (10) 地震観測と津波予報

海底地震が大規模であると津波が発生し、三陸津波やチリ津波のような大損害を伴う。このため地震があると、その震源位置と規模を決定し、津波警報等を出さねばならない。沿岸に近い地震では2~30分で来襲するものもあるので、従来の観測者による発震時、初期微動継続時間、初動方向、最大振幅等の読み取り、発信、その集信とデータ処理による津波判定では時間がかかる。そこで、現在広域地震監視網等の整備強化により自動化が進められている。

また、高感度地震計により小地震観測網の整備や海底地震計、埋込式歪計等の増強により飛躍的に増大する地震データの解析処理を高精度かつ迅速に行うために、地震記録自動処理装置等も計画中である。

#### (11) その他の観測並びに予報における情報処理

地磁気観測においてもその多量のデータ処理のため、その計測処理室にデータ処理システムを組み込み、省力化・能率化を図っているが、その他の環境調査のためのプロジェクト等においてもデータ処理の電子計算機化が図られている。

一方大型船の高波による船体真二つといった海難事故も近年多く、漁船や釣り舟等の遭難も多いので、外洋波浪や沿岸波浪の予報のニーズも高い。このため、外洋の資料のない所の風を気圧・気温・水温から大気境界層の理論により計算し、その風の強さ、継続時間、吹続距離等から計算する波浪予報もその計算量が大きいので電子計算機が必要である。

また、潮汐も全国各港における潮時・潮高の日別値を算出するには多量の計算を必要とするので電子計算機が用いられる。

海上航行の船舶等から収集した多量の海上気象資料による統計・調査、あるいは情報資料作成においても電子計算機が用いられ、WMOでもその強化を各国に要請している。

## 2. 気象情報の流れの迅速化

近年、集中豪雨のような局地的現象に対するキメの細かい短時間予報のニーズが高まってきている。このニーズに応えるためには前述の AMeDAS、レーダー、気象衛星等の情報を即時的に入手し、解析するとともに、それに基づく予報等の気象情報を作成し、迅速に提供しなければならない。そのためには観測—通報—編集・処理・加工—配信—予報作成—情報提供の流れを迅速化する必要がある。

したがって、観測通報のテレメータ化とそのデータの処理・加工等の自動化により予報者に最終製品型の子測資料を早く配信し、予報者は電子計算機が不得意とするパターン判別や天気のおくせなどの修正を加え、予報文作成の意志決定に全力を注げるようにする。そして気象情報作成までできるだけ人手と時間をかけず客観化し、近年急速に発達した各種の情報伝達周知手段によって、利用者がいつでも必要な時、選択利用できるようにする。

このように気象資料および情報の流れが迅速化すると、特に有効時間の短い短時間予報ではその予報の有効時間を長くすることとなり、その効用が高まる。したがって、その他の気象・海象・地象についても社会のニーズに沿って、情報を最も効率良く提供できるシステムを整備強化すべく各種業務の改善を進めつつある。

## 3. 情報化時代の気象情報サービス

離着陸の航空機にとっては空港の風・気温・視程等が、飛行中の航空機には雷・着氷・乱気流等の情報が必要であり、船舶・列車・自動車等の交通機関もそれぞれ必要な気象情報がある。また火力発電所等においては風向による硫黄分の違う重油の焚き分け、あるいは雨量予報によるダムコントロール、日照や気温の予報による給電指令、家庭における洗濯や冷暖房調節等、およそ空気中で生存し、行動するものにとっては多少なりとも気象情報を必要とする。

そこで、いろいろなユーザーに最適な形に作成された気象情報が、それぞれ最適な伝達手段により提供されることが望ましい。

また、レーダー合成図と AMeDAS の雨量分布図を重ねた図とか、レーダー合成図と気象衛星画像を重ねた図などのように誰でも客観的に容易に利用できる表現法、ディスプレイ装置等を工夫し、雨の全生涯についても上からの衛星による雲写真と横からのレーダーによるエコー分布、それに地上の AMeDAS による雨量分布と 3 方向からの立体的な、かつ時間変化も加えた 4 次元的表現による情報伝達が望まれる。

## むすび

以上述べたように気象情報は気象観測を基として、その集信・処理・加工等により作られ、ユーザーに伝送・伝達されている。それらの情報処理が迅速で効果的でなければならないので、近年進歩の著しい情報処理技術・情報伝送技術・遠隔探査技術等を活用して、費用効用的にも効果的な自動化・省力化・迅速化を進めている。

たとえば、WMO の 5 個の静止気象衛星等による全地球上の気象監視計画等に協力するとともに、国内的には地上気象・レーダー・AMeDAS・航空気象・波浪等の諸観測データを最適に処理し、キメの細かな短時間予報や波浪予報・航空予報等の気象情報サービスの質の向上を図りつつある。

このため電子計算機利用の効率化等を目的として、それぞれ観測時刻のための時間的制約のあるルーチン使用を主体として設置され運用されている数値予報用電子計算機や、気象資料の自動編集・中継用電子計算機、地域気象観測システム用電子計算機、気象衛星用電子計算機および研究所用電子計算機をそれぞれサブシステムとしてとらえ、全体目的のための最適な形に改善して、有効適切で無駄のないトータルシステムとして結合すべく検討されている。また、外部のシステムとの電子計算機—電子計算機によるインタフェースも検討されるようになるう。