

解説

4. 社会情報システムの動向



4.5 気象情報システム†

馬場 厚††

1. まえがき

天気予報を行うためには、まず気象現象の変化を正しくとらえなければならない。そのためには、気圧・気温・雨量などの多様な気象観測を広範囲で行い、これらの成果を誤りなく集め、天気図を描くなどの適切な処理を行うという過程が必要である。そして、天気予報が意義を持つためには、以上の過程を短時間でを行い、その結果より推測される結果を正確かつ迅速に利用者に伝達しなければならない。

現在気象庁には、日本国内ばかりでなく気象衛星を含め全世界より大量の観測データが気象データ通信網を通じて集められている。これらは計算機で高速処理され、数値予報などにより将来の天気が予測されている。これらの情報は、即時的にマスコミなどを通じて一般利用者に伝達され、活用されている。

この気象情報システムは、通信や電子計算機を中心とした情報処理技術の発展とともに構築され、改善されてきた。そしてさらに、新しい有効な技術の利用により、いっそう強化されつつある。ここでは、気象庁における気象情報システムの現状を、数値予報システムを中心に説明していきたいと思う。

2. 気象情報システムの概要

2.1 気象データのの流れの概略

図-1は、気象庁の気象情報システムにおけるデータのの流れの概略を示したものである。

† Information System of Weather Forecasts by Atsushi BABA (Japan Meteorological Agency, Numerical Prediction Division).

†† 気象庁予報部数値予報課

気象現象はさまざまな観測手段によりとらえられる。これらの観測結果は、観測後ただちに定められた電文に整えられて（一部は直接に）送信され、気象資料自動編集集中継装置 (ADESS—Automated Data Editing and Switching System—) に集められる。国外の観測データも、各地域で編集され専用回線を經由して ADESS に入電してくる。ADESS は、これを数値予報解析中枢電子計算機 (数値予報システム) に送る。数値予報システムでは、入電した観測データより気象状況を解析し、これをもとにして数値予報を行う。さらに、これらの結果より気象実況図や予想図などの予報資料を作成する。これらは、CDF (Coded Digital Facsimile) などにより再び ADESS 経由で各地の予報中枢へ送られる。予報中枢では、予報官が各地の観測データや気象衛星の雲写真などより現在の気象状況を判断し、さらに送られてきた予報資料を検討し総合して天気予報や注意報・警報を発表する。これらの情報は、防災関係機関や報道機関に伝達され、これらを通じて一般利用者に伝えられている。また、運行中の船舶や航空機などに対しては、無線放送など

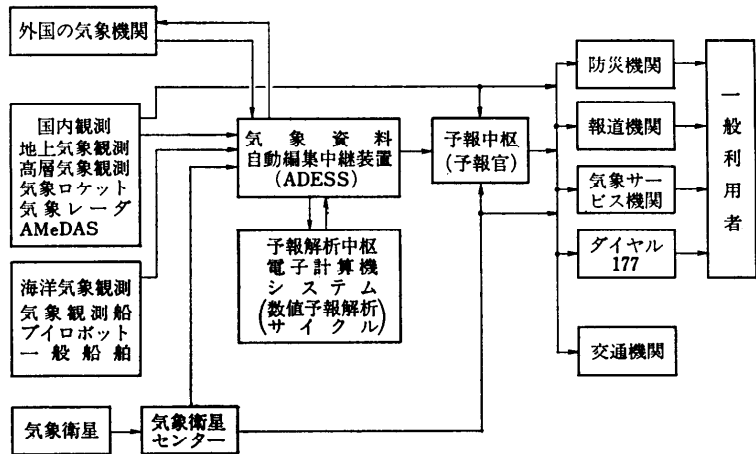


図-1 気象庁における気象データのの流れの概略

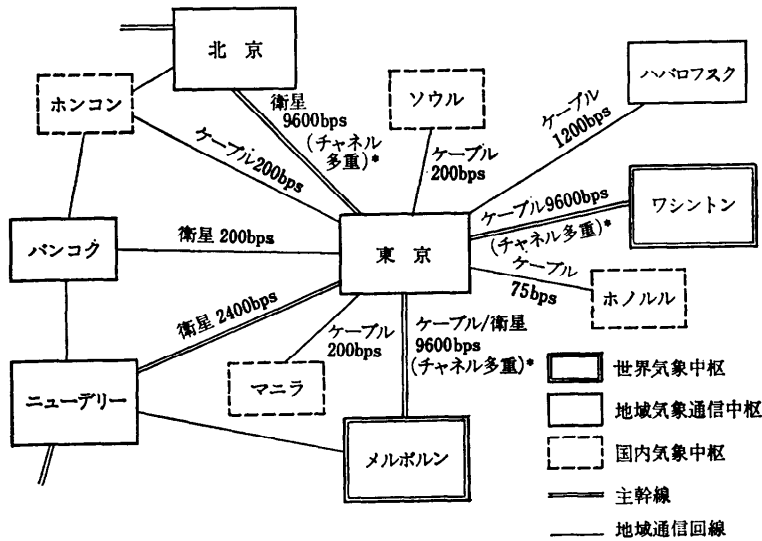


図-2 東京を中心とした GTS 回線網図

* 文字コード 4800bps+NCDF (Non-Coded Digital Facsimile) 4800bps.

により直接伝達されている。

2.2 気象情報の収集—観測システムと通信システム—

現在地球上には約 7800 の地上観測所、約 1700 の高層気象観測所、約 7700 の篤志観測船、多数の海洋ブイロボットなどが気象観測を行っており、また多くの航空機、宇宙から二つの極軌道衛星と 5 つの静止衛星も毎日多くの観測データを送ってくる。これらの観測データは全球通信システム (GTS—Global Telecommunication System—) を通じて気象庁にも集められている^{1),2)}。

2.2.1 GTS (全球通信システム)

GTS は国連の世界気象機関 (WMO) が中心となって推進されている世界気象監視計画 (WWW—World Weather Watch—) の一環として、各国の気象業務の円滑な遂行のために整備されたシステムである。この GTS は、観測データや予報結果などの気象データ全般の収集と配布に関して世界的規模で調整されており、主幹線網、地域通信網、および国内通信網の三つのレベルから構成されている。気象庁の ADESS は、アジア地域の通信中枢としてこのシステムの重要な構成要素となっている (図-2 参照)。

2.2.2 国内における観測システムと気象データの集信システム

日本全国には約 160 の気象台や測候所があり、定時

観測*やその他の観測**を行っている。また、全国 24 カ所の気象官署や 2 隻の気象観測船において大気の 3 次元的構造を解明する高層気象観測を 1 日 4 回行っている。これらの観測成果はコード化され、各地方中枢にある地方気象資料編集継装置***経由で東京の ADESS に集められ、編集されている。この気象資料伝送網の構成図を図-3 に示しておく。

気象官署は全国に展開されているが、それでも集中豪雨のような局地的な激しい気象現象を監視するためにはこの監視網ではまだ不十分である。そこで、ごく局地的な気象現象をもれなく監視できるようにするため、気象レーダと地域気象観測システム (AMeDAS—Automated Meteorological Data Acquisition System) が全国に展開されている。

気象レーダは、降水域の範囲・強さ・移動などを短時間で広範囲に観測することが可能であり、気象庁では全国をカバーできるように 20 カ所に展開している。その観測結果はレーダエコーのスケッチ図として配信されていた。しかし、このレーダデータを計算機で自動処理できるようにするために、エコーのデジタル化計画が昭和 57 年度より始まり、順次各レーダ

* 世界時の 0 時と 12 時を中心とした 3 時間おきに、気圧、気温、風向、風速などの WMO の規定に従った観測を行う。

** 生物現象などの気候に関する観測も重要である。

*** L (Local)—ADESS と呼ばれている。これに対し、東京の気象庁にある ADESS を C (Center)—ADESS と呼ぶことがある。

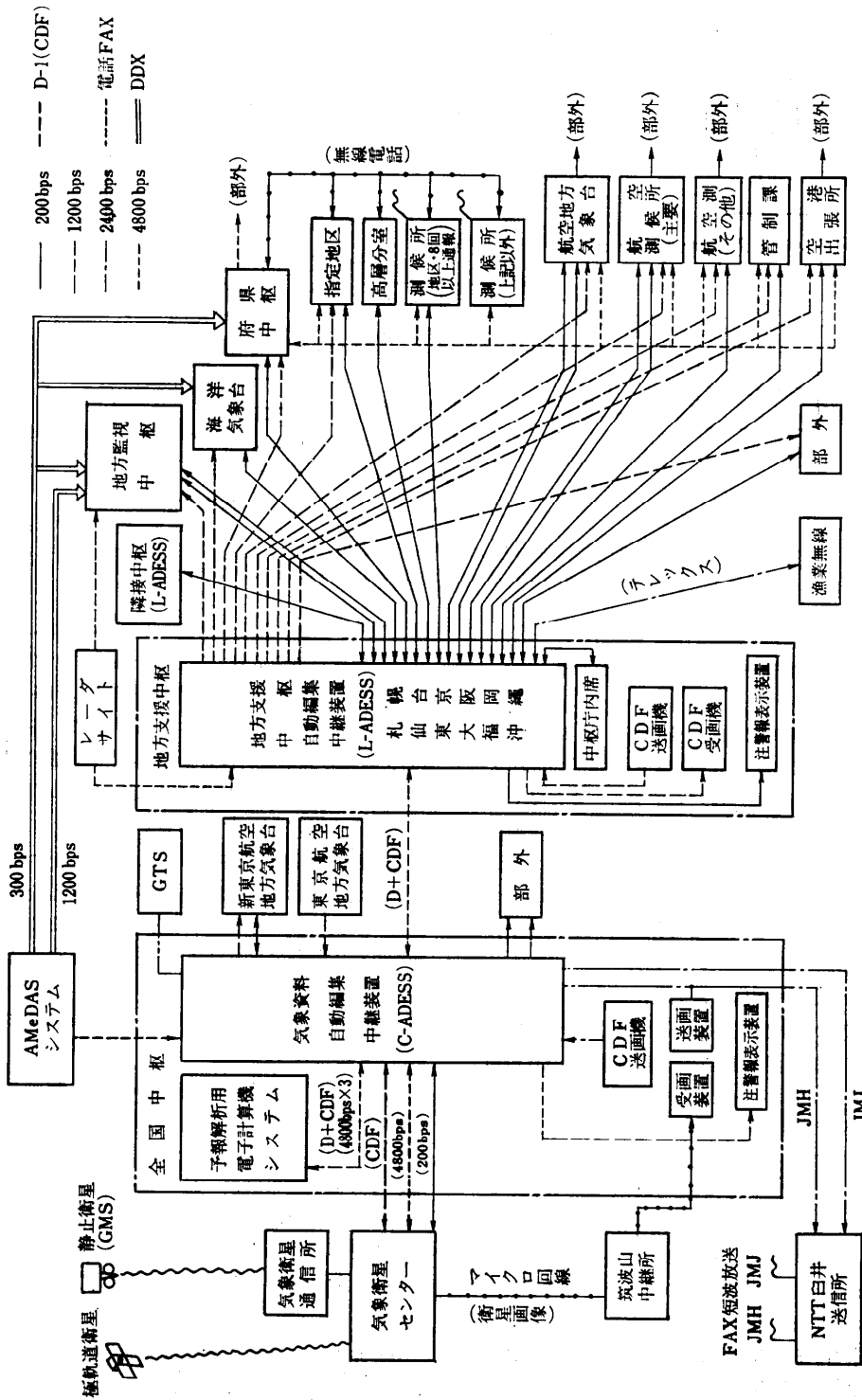


図-3 気象資料伝送網

へと進みつつある⁹⁾。

AMeDAS システムは、全国 1313 地点 (約 17 km 間隔) に設置されたロボット気象計によって毎正時に観測されるデータを、NTT の電話回線で東京の地域気象センターに自動的に集め、処理するシステムである。地域気象センターでは、集まったデータの編集や統計処理を行い、その結果は図-3 に示したように気象資料伝送網によって各地の気象官署や部外ユーザへ伝達されている。

2.2.3 気象衛星システム

気象衛星は、従来の点としての観測に対して、面としての観測手段を提供した。現在、その雲写真は天気予報の資料としてなくてはならないもののひとつとなっている。

気象衛星には静止衛星と極軌道衛星の二つがある。静止衛星は、赤道上空約 36,000 km よりその直下点を中心に半径約 6,000 km 以内の雲分布と表面温度を観測する。このため、監視範囲の連続観測が可能だが両極地方の観測はできない。これに対して極軌道衛星は、地上約 850 km の高さを南北方向に約 100 分の周期で回りながら真上より走査して観測を行う。そのため両極地方の観測も可能となる。また低空を飛ぶために解像度もよく、雲写真だけでなく地表面から 30 km までの鉛直温度分布や水蒸気分布および地表温度などを測定している。

ひまわり (GMS—Geostationary Meteorological Satellite—) は、WMO で推進している気象衛星による全世界の気象現象の常時監視システム (静止衛星 5 個と極軌道衛星 2 個) の一環として打ち上げられたもので、現在 3 号が運用されている。

GMS は 1 日 8 回 3 時間おきに観測を行っており、さらに台風の接近時など必要なときには毎時の観測も行われる。約 25 分で全体の観測が完了するが、観測データはリアルタイムに気象衛星センターへ送られて処理される。その中で、雲写真は FAX 画像として再び GMS 経由で監視範囲の各地へ放送されている。また、世界時の 0 時と 12 時には 30 分間隔で 2 枚の雲画像が作られ、これより雲の移動ベクトルを作成して上層の風の推定値が得られている。この結果は、雲頂高度や雲量データとともに ADESS へ送信され、数値予報の貴重な資料となっている。

また、GMS は気象観測ばかりでなく、通信の中継基地としても気象情報システムの中で重要な働きをしている。前述の雲写真の各国への放送ばかりでなく、

船舶、航空機のほか、山岳や離島との気象データの集配信時の中継を行っている。

2.3 気象情報の処理—数値予報システム—

ADESS に集められた気象データは、数値予報システムに伝達され処理される。ここでは、データを解読し、それをもとに天気の実況解析を行い、さらに数値予報を行って将来の大気の状態の予測値を求めて、その結果を再び ADESS へ送信している。

2.3.1 数値予報の原理

数値予報の原理とは、「大気の状態とその時間変化は、いくつかの基本的な物理法測によって記述できる。したがって、ある時刻の大気の状態がわかれば、それ以後の大気の状態も予測できる。」というものである。これは、統計的手法や運動学的な補外による予測などとは原理的に異なるし、また、これは個々の低気圧や高気圧などの位置を直接求めるものではなく、規則的・立体的に配列された格子点上における大気の物理量 (気圧, 風, 気温, 水蒸気量) を計算するものである。

しかし、原理はかんたんであるが、実際の計算は相当複雑なものとなる。また、より細かい大気現象を表現し、予測するためには、格子点の数を増やす必要がある。そのため、よりよい予報モデルを作るためには、大気現象の解明ばかりでなく、計算機の機能の向上と、その計算機の能力をフルに使用するソフトウェアの技術も必要となる。

2.3.2 予報解析サイクル

数値予報の初期値は、観測データを用い、客観解析と呼ばれる数値計算により求められる。この客観解析において、その計算時のベースとなる推定値には、12 時間前の解析値を初期値とした 12 時間予報値を用いている (図-4 参照)。このような客観解析と数値予報の一連の過程を予報解析サイクルと呼び、解析を行う。

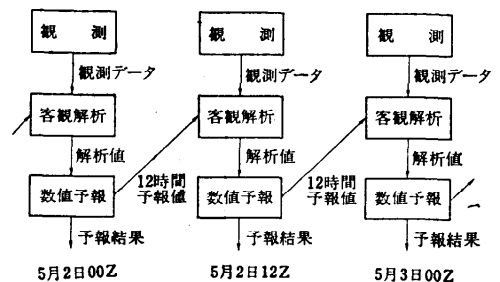


図-4 予報解析サイクルにおける観測・解析・予報の相互関係の概念図

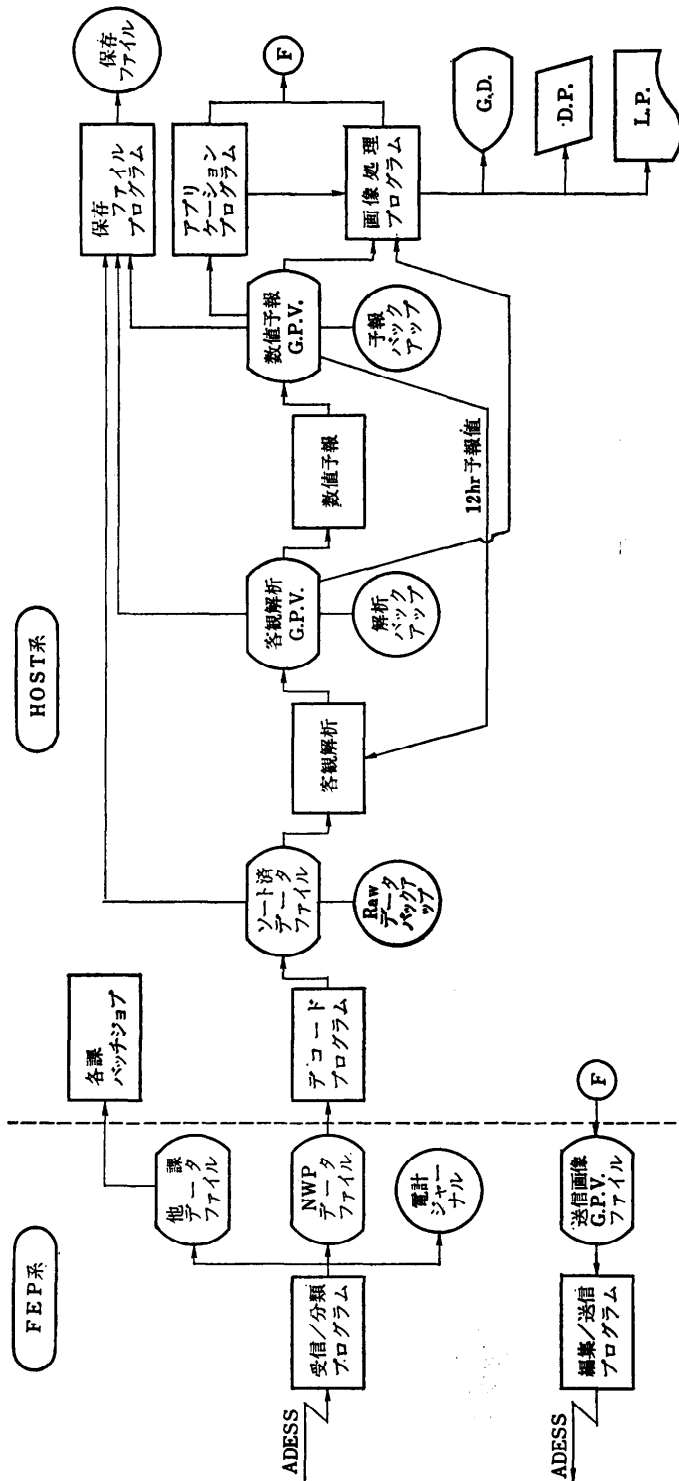


図-5 数値予報システムのフロー・ダイアグラム

時間間隔をサイクル時間と呼んでいる。この予報解析サイクルは、数値予報モデルによってシュミレートされた疑似大気(数値予報システムのマスタデータと言えるであろう)を、観測されたデータを用いてサイクル時間ごとに修正し、実際の大気とたえず一致させていく作業であり、数値予報システムの中心である。

2.3.3 数値予報システム

図-5は、数値予報システムの概略をフロー・ダイアグラムで示したものである。ADESSとのデータの授受は回線を通じて行われている。回線は3回線、伝送速度4800BPS、全二重回線のHDLC手順である。ADESSからは各地からの観測データの入電次第この回線をとおしてFEPに渡される。ここで、データの種別、入電時刻別、使用課別に分類され、18のディスクファイルにそれぞれ格納蓄積される。一方、HOST側計算機でデコーディングプログラムが起動されると、このFEPのディスクに蓄積された数値予報ルーチン用のデータをCTCA(Channel To Channel Adaptor)を經由してHOST側ディスクに取り込み、デコーディングが開始され、結果が数値予報ルーチンプログラムに渡される。解析、予報の各段階でアウトプットが出力されると、画像処理プログラムに渡される。その結果はグラフィックディスプレイに表示され、チェックを受けたのちCDF(Coded Digital Facsimile)化され、FEP側に送られて送信ファイルに蓄積される。また、格子点データは格子点データ送信編集プログラムによって通報式に変換され、FEP側のファイルに蓄積される。これらの結果は、再び回線を介してADESSに送られる。

表-1に毎日ルーチンとして行われている数値予報モデルの概要を示した。それぞれ1日2回世界時の0時と12時の観測データより計算された解析値を初期値としている。予報解析サイクルには全球解析と全球予報モデルを使用して

G.P.V.: Grid Point Value (格子点値)

いる。

これらの数値予報モデルを走らせる実際のルーチン作業は、表-2 に示した1日5回に分けて行われている。同じ時間の初期値であっても二つの作業に分かれているのは、予報を行うのに必要な観測データがGTSをとおして集まるのに、地域によりかかる時間が異なるためである。すなわち、アジア極東領域では比較的早く集まる。これを利用して、まず狭領域のモデル(アジア領域・極東領域微格子)で短時間先(1~1.5日)の予報を行う。さらに十分時間をかけてデータを集め、広領域のモデル(全球、北半球)で比較的長い時間(2~3日先)の予報を行っている。

これらの数値予報ルーチンの中で、北半球00Zルーチンの内容を図-6 および表-3 に示した。これは、00Z を初期値とした北半球72時間予報を中心とした作業で、全部で31個(1個は不定期)のバッチジョブで構成されている。これらのジョブは相互に関連があり、その実行順序も決っている。そしてこれらのジョブを自動的に監視し操作するためにJOMS(Jobnet Operating and Monitoring System)と呼んでいるプ

ログラムが作られている。JOMSは、端末のディスプレイに表示された図(図-7と同一)において、各ジョブの状態(実行前、実行中、正常終了、異常終了)を色別に表示する。オペレータは、ルーチン開始のトリガをかければ、ルーチンジョブの進行状況を端末のディスプレイ上で監視すればよく、複雑なオペレーションによる人為ミスを防いでいる。

2.3.4 短時間予報システム

数値予報では、観測データの収集に要する時間や数値予報モデルの一般的な特性(初期値がモデルの大気になじむまでに時間がかかる)により、予報開始時刻より6~12時間までの予報結果の利用価値は低い。また、現在の観測密度、予報モデルの性能、計算機の能力では、ごく局地的な気象現象の直接的な予測はまだ困難である。たとえば、日本領域微格子モデルでさえその格子間隔は63.5kmであり、これで数キロのオーダーの気象現象である雷雲の移動を予測することは原理的に不可能である。(雷雲の発生しやすい気象状態になるという予測は可能であるが、個々の雷雲の発生や移動、衰弱などの予想は不可能である。)

表-1 1986年6月現在のルーチンモデル

| | 全球モデル 12L-GSM | 北半球モデル 12L-HSM | アジア領域モデル 12L-FLM | 日本領域微格子モデル 13L-VFM |
|-----------------------|----------------------------------|------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| 予報領域 | 全 球 | 北 半 球 | アジア・北太平洋 | 日本附近 |
| 水平分解能 | 波数42 (格子間隔で 250km 相当) | 同 左 | 60°N で 127 km (ポーラスステレオ投影) | 60°N で 63.5km (ポーラスステレオ投影) |
| 水平方向格子点数 | 128×64 | 128×32 | 73×55 | 55×55 |
| 層 | 12 層 | 同 左 | 12 層 | 13 層 |
| 差分化の手法 | スペクトル法 | 同 左 | 格子点法 | 格子点法 |
| 予報時間 | 12 時 間 | 72 時 間 (192時間-2回/週) | 36 時 間 | 24 時 間 |
| 目 的 | 全球予報解析サイクルのため | 北半球域での大規模じょう乱の予報 | アジア域での大規模中規模じょう乱の予報 | 極東域での中間規模じょう乱の予報 |
| 初 期 値 | 全球解析を初期値化*1 | 全球解析の北半球部分を初期値化 | アジア太平洋解析値を初期値化せずに使用 | 極東域解析値を初期値化せずに使用 |
| 解析に使用した観測データ | MAP タイム**より6時間までに FEP に入ったデータを使用 | 同 左 | MAP タイムより3.5時間までに FEP に入ったデータを使用 | 同 左 |
| ルーチンにおける計算時間** (経過時間) | 約 10 分 | 約 23 分 (192時間-60分) | 約 30 分 | 約 25 分 |
| 境 界 値 | — | 赤道面が断熱・剛体面となっている | 12時間前の初期値から出発した北半球モデルの12~48時間予想値 | 同時刻の初期値から出発したアジア領域モデルの0~24時間予想値 |

*1 解析値に含まれるノイズ(予報モデルにとっての)をとりのぞく作業。

*2 求める解析値の時間。たとえば、0時の観測値をもとにして解析を行ったとしたら、0時がMAPタイムとなる。

*3 大気の状態により、予報時間は多少変化する。一般に冬の方が時間がかかる。なおこれには初期値化の計算時間も含まれている。

表-2 数値予報システムの作業ルーチン

| ルーチン名 | 内 容 | JOB 数 | 開始時刻 | 終了時刻 |
|--------------|---------------------|-------|-------|-------|
| アジア 00Z ルーチン | 00Z 初期値アジア域 36 時間予報 | 24 | 12:30 | 13:30 |
| 北半球 00Z ルーチン | 00Z 初期値北半球 72 時間予報 | 31 | 15:00 | 16:30 |
| アジア 12Z ルーチン | 12Z 初期値アジア域 36 時間予報 | 23 | 0:30 | 1:30 |
| 北半球 12Z ルーチン | 12Z 初期値北半球 72 時間予報 | 37 | 3:00 | 5:00 |
| 始業ルーチン | データ保存作業 (保存テープ・天気図) | 13 | 9:30 | 10:05 |

最近、気象レーダや AMeDAS システム、気象衛星システムなどの実況監視の手段と、これらの観測データを一括して処理できる体制が整備されてきたため、局地的現象を含む気象現象の実況の詳細かつ即時的な解析が可能になった。そして、さらにこれらのデータを利用した短時間先 (3~6 時間先) の局地的な気象状態の予測を行う短時間予報が運用されるようになった。これは、数値予報のように力学方程式の数値解を求めるというものでなく、気象現象の移動、発達減衰を運動学的に予測するものである。そして、これは有効な予報時間がきわめて短いため、データの収集からその処理、結果の伝達までの過程が高度に自動化かつ即時化されて始めて可能となるものである。

2.3.5 天気予報の発表

数値予報システムで作られた解析や予報の結果は、各予報中枢や気象サービス機関などへ ADESS 経由で配信される。また、これらの結果を統計処理して得られた予測資料も作られており、これも ADESS をとおして配信されている。

各地の予報担当者は、これらの情報や気象レーダや AMeDAS、衛星写真などを比較検討して現在の気象状況を把握し将来の天気を予測する。そして、天気予報や注意報・警報を発表する。特に、現在の数値予報では総観規模の大気現象 (高気圧や低気圧の移動、発達、減衰など) しか表現できないため、各地の予報担当者は、予報モデルの特情をとらえ、さらにその土地や地域に合ったキメの細かい予報を行う。

2.4 気象情報の伝達

気象庁から他の機関や利用者への気象情報の伝達は、専用回線や無線放送などにより行われている。

有線系には、ADESS 回線の分岐による伝達 (テレタイプによるデー

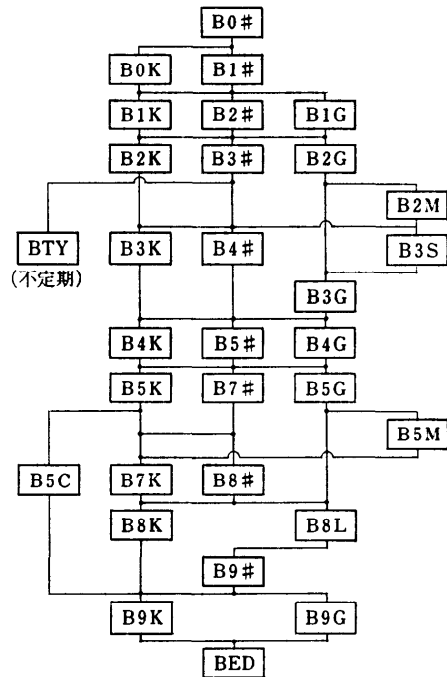


図-6 北半球 00Z ルーチン JOBNET 図

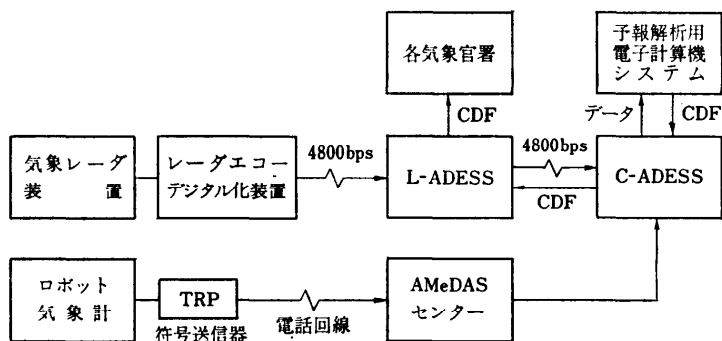


図-7 短時間予報システム概念図

表-3 北半球 00Z ルーチン JOB

| JOB 名 | リージョンサイズ (KB) | 計算時間 (分) | 内 容 |
|------------|---------------|----------|-------------------------------|
| B 0# | — | 2 | FEP より HOST へのデータコピー |
| B 1# | 8,500 | 5 | デコーディング |
| B 2# | 6,500 | 15 | 全球解析 (15層 2.5° LAT-LON) |
| B 3# | 6,000 | 15 | 北半球予報 (0~24時間) |
| B 4# | 4,096 | 10 | " (24~48時間) |
| B 5# | " | 10 | " (48~72時間) |
| B 7# | 2,000 | 3 | 予報ガイダンス資料 |
| B 8# | 8,300 | 11 | 全球予報 |
| B 9# | 2,000 | 3 | 航空用 FEP コピー・デコード |
| B1G | 4,000 | 1 | 700mb 高層データプロット |
| B2G | 6,000 | 7 | 全球解析 CDF |
| B3G | 6,000 | 5 | 北半球予報 CDF (24時間) |
| B4G | 4,000 | 5 | " (48時間) |
| B5G | 4,000 | 4 | " (72時間) |
| B9G | 4,000 | 6 | 航空用 CDF |
| B8L | 4,000 | 1 | 気象衛星センターへのデータ送信 |
| B2M | 4,000 | 3 | 全球解析結果出力 |
| B3S | 4,000 | 5 | 航空用悪天予想図出力 |
| B5M | 3,000 | 4 | 北半球予報結果出力 |
| B5C | 2,000 | 3 | 庁内各課への予報結果出力 |
| B1K B9K | — | 1 2 | データバックアップ (バックアップテープへのコピー) |
| BTY | 3,000 | 15 | 台風進路予想 (不定期) |
| BED | — | 0.1 | 北半球 00Z ルーチン終了処理 |

タ伝送や CDF の配信), 専用電話による同時送話や個別通話による通報がある。また, 無線系には, 船舶気象放送 (JMC) のような短波モールスによる気象無線放送, 気象 FAX 放送 (JMh や JMj), 防災行政無線などがある。その他, 航空機に対して, 日本周辺地域の飛行場の気象実況および予報を短波無線電話により通報するボルメット無線電話通報がある。

これらの気象情報の伝達手段として, 電話 FAX 利用の同送装置の整備が検討されている。また, 短波による FAX 放送は電波伝搬現象に伴うマルチパスなどの影響があるため, その影響のほとんどない静止衛星 (気象衛星) による放送も今後検討されていくであろう⁴⁾。

一般利用者へは, テレビ・ラジオを通じて, あるいは NTT の天気予報サービス電話, 気象サービス機関 (日本気象協会や一般気象情報企業) などを通じて情報が伝達される。なお, 気象衛星の雲写真については, 装置さえあればだれでも直接受信できる (申告制)。

現在のところ, 客観解析や数値予報結果などは, 主に DCF のような画像化された情報として地方の予報中枢や利用者に配信されている。ところが, これらは元来格子点値として計算されたものであり, その中に含まれる情報量は現在配信されている資料と比較してはるかに多い。この格子点値の配信は, まだ一部機関に対してしか行われていない。しかし, 今後, 気象資料伝送システムの改善とともにこれが進み, 予報官は自ら格子点値が加工し自分の得たい情報を直接抽出することができるようになる。そして, 一般利用者も, 気象サービス機関などによる副次的な加工情報をキャプテンシステムのようなニューメディアを通じて得たり, さらにには利用者自身による格子点値の加工を行うことになることも考えられる。

3. おわりに

以上, 気象庁における気象情報システムについて数値予報を中心に概観した。現在, 気象庁では ADESS と数値予報システムを統合した気象資料総合処理シ

ステムを整備する計画が進んでいる。本システムの整備により, 地方気象官署への予報支援資料は格段に充実することになり, 予報精度の改善が期待されている。また, 短時間予測の本運用も予定されており防災面で効果的な予測情報の提供も期待されている。今後, キャプテンシステムのようなニューメディアの発展などにより, より正確な気象情報がより速く一般利用者までにも伝達されるようになるであろう。

参 考 文 献

- 1) 気象庁予報部: 世界気象機関基礎組織委員会臨時会議出席報告, pp. 1-2 (1986).
- 2) WMO: Manual on the Global Telecommunication System, Part 1, pp. 3-47 (1985).
- 3) 気象庁予報部業務課: 測候時報, Vol. 50, No. 4, pp. 283-328 (1983).
- 4) 伊藤 衛: 電子通信学会誌, Vol. 68, No. 7, pp. 762-765 (1985).

(昭和 61 年 5 月 26 日受付)