

JAERI-Research
95-016

JP9505136



メソスケール大気力学モデルPHYSICの改良
—総観規模数値予報モデルの出力を用いた初期値・境界値の設定—

1995年3月

永井晴康・山澤弘実

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越してください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division, Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1995

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 (株)原子力資料サービス

メソスケール大気力学モデル PHYSIC の改良
— 総観規模数値予報モデルの出力を用いた初期値・境界値の設定 —

日本原子力研究所東海研究所環境安全研究部
永井 晴康・山澤 弘実

(1995年2月6日受理)

本報告は、高精度大気拡散評価モデル PHYSIC のうち、気象場計算を行うメソスケール大気力学モデルの改良についてまとめたものである。

メソスケール大気力学モデルに広域の気象変動を詳細に導入するために、気象庁の総観規模数値気象予報モデルの出力 GPV (Grid Point Value) を用いた初期条件及び境界条件の設定が必要である。そこで、GPV データから PHYSIC 用の総観規模気象データファイルを作成するプログラムの開発と、それに対応した気象データの入力、空間内挿及び時間内挿方法の改良を行った。さらに、雲量と地表面湿潤度を GPV データから計算する方法を開発し、モデルの計算コードに追加した。

改良モデルによる計算例として、東海地区における、冬季の北西季節風と夏季の海風の風速場再現計算についても述べる。

Improvement of a Mesoscale Atmospheric Dynamic Model PHYSIC
- Utilization of Output from Synoptic Numerical Prediction Model
for Initial and Boundary Condition -

Haruyasu NAGAI and Hiromi YAMAZAWA

Department of Environmental Safety Research
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received February 6, 1995)

This report describes the improvement of the mesoscale atmospheric dynamic model which is a part of the atmospheric dispersion calculation model PHYSIC.

To introduce large-scale meteorological changes into the mesoscale atmospheric dynamic model, it is necessary to make the initial and boundary conditions of the model by using GPV (Grid Point Value) which is the output of the numerical weather prediction model of JMA (Japan Meteorological Agency). Therefore, the program which preprocesses the GPV data to make a input file to PHYSIC was developed and the input process and the methods of spatial and temporal interpolation were improved to correspond to the file. Moreover, the methods of calculating the cloud amount and ground surface moisture from GPV data were developed and added to the model code.

As the example of calculation by the improved model, the wind field simulations of a north-west monsoon in winter and a sea breeze in summer in the Tokai area were also presented.

Keywords: Mesoscale Atmospheric Dynamic Model, Large-scale Meteorological Change, GPV, Initial Condition, Boundary Condition, PHYSIC, Spatial and Temporal Interpolation, Cloud Amount, Ground Surface Moisture, Model Code, Wind Field Simulation

目 次

1. はじめに	1
2. PHYSIC用総観規模気象データファイル	2
2.1 GPVデータの概要	2
2.2 総観規模気象データファイルの概要	3
2.3 総観規模気象データファイルの作成プログラム	3
3. PHYSICの改良	5
3.1 モデルの概要	5
3.2 計算コードの改良	6
4. 再現計算	12
4.1 計算条件	12
4.2 計算結果	12
5. まとめ	13
参考文献	14

Contents

1. Introduction	1
2. Synoptic Meteorological Data File for PHYSIC	2
2.1 Outline of GPV Data	2
2.2 Outline of Synoptic Meteorological Data File	3
2.3 Program to Make the Synoptic Meteorological Data File	3
3. Improvement of PHYSIC	5
3.1 Outline of the Model	5
3.2 Improvement of the Model Code	6
4. Calculation	12
4.1 Calculation Condition	12
4.2 Calculation Results	12
5. Summary	13
References	14

1. はじめに

高精度拡散評価モデル P H Y S I C は、メソスケール大気力学モデル、乱流クロージャーモデル及び粒子拡散モデルから成り、放射能の移流拡散を数値的に予測するモデルである。モデルの適用性検証研究として、これまでに東海周辺の単純な海岸線を持つ平坦な地形¹⁾、筑波山周辺の内陸複雑地形²⁾、及び下北半島周辺の海岸複雑地形³⁾を対象とした風速場再現計算を行い、モデルの性能評価及び改良を行ってきた。海岸平坦地形及び内陸複雑地形での再現計算においては、対象とした期間内の一般風の時間的変動が比較的小さかったため、モデルは風速場を良く再現できたが、下北半島周辺を対象とした再現計算の際には、一般風の変動が大きくモデルの再現性は低下した。このことは、モデル領域より大きいスケールの変動、つまり高気圧や低気圧の移動に起因する総観規模変動のモデル領域内への導入が不十分であることが原因であると考え、風速及び温位の側面境界条件を改良し、総観規模変動をより厳密にモデル内に導入することを試みた。その結果、一般風の変化が大きい場合や風速の鉛直分布が複雑な場合においても、モデルは風速場を良く再現できるようになった。しかし、初期値及び境界条件として与える総観規模の風速及び温位分布は、モデル計算領域内にある1点の高層気象観測所における12時間間隔(09JST、21JST)の観測データを基に設定しているため、モデル外から与えるべき変動のスケールが時間的あるいは空間的に小さい場合に再現できないという問題点が残っており、広域モデルの出力を用いた初期値及び境界値の設定が必要であることが明らかになった。

モデルの初期値及び境界値の設定に用いる広域モデルの出力として、気象庁の数値予報モデルの出力である G P V (Grid Point Value) はオンラインで入手することができ、緊急時における迅速な放射能拡散評価及び予報を可能にするという観点からも有効であると考えられる。そこで、オンラインで入手した G P V データを用いることを想定して、G P V データから P H Y S I C 入力用の総観規模気象データファイルを作成するプログラムの開発及びそれに対応する P H Y S I C の計算コードの改良を行った。この改良では、G P V データの風速及び温位の内挿値を初期値及び境界値として用いるだけでなく、外部条件として入力が必要な雲量、接地層比湿、地表面湿潤度等についても、G P V データから推定して空間分布及び時間変化を設定することができるようにした。

G P V データを用いた予報計算の運用試験及び再現性の評価を行うために、磁気テープに記録された G P V データを利用して、原研東海研究所を対象サイトとした風速場再現計算を行った。計算領域は、ほぼ茨城県全域を含む100km四方の領域と、その内側に設定した50km四方の領域で、外側領域の計算値の出力を内側領域の境界

値に用いるネスティング計算を行った。1994年1月の北西季節風及び7月の海風状風速分布の2ケースを選び、各々21JSTに初期化を行い翌日の24JSTまでの27時間の計算を行った。風速の計算値は、原研東海研究所のドップラーソーダー及びA Me D A S等の観測値と良く一致した。

2. PHYSIC用総観規模気象データファイル

2.1 GPVデータの概要

GPVデータとは、気象庁の数値予報モデルの出力で、全球予報、アジア域予報、日本域予報等がある。ここでは、日本域予報モデルJ S M (Japan Spectral Model)の出力である日本域23要素及び日本域5要素のデータを用いる。

日本域のGPVデータは、1日2回09JSTと21JSTに初期化された24時間後までの予報値で、格子間隔は緯度経度20分（北緯60度で約30km）である。日本域23要素は、地上気圧、指定気圧面高度、指定気圧面での風速や気温等の3時間間隔の予報値であり、日本域5要素は、地上の風速や気温、降水強度等の1時間間隔の予報値である。以下に日本域23要素及び日本域5要素の内容をまとめる。

a) 日本域23要素

3時間間隔

Surface P

900hPa z, u, v, T, T-T_d

850hPa z, u, v, T, T-T_d, θ

700hPa z, u, v, T, T-T_d, ω

500hPa z, u, v, T, T-T_d

b) 日本域5要素

1時間間隔

Surface u, v, T, T-T_d, R

ここで、Pは地上気圧、zは等圧面高度、uは風速東西成分、vは風速南北成分、Tは気温、T-T_dは湿数（気温-露点温度）、 θ は相当温位、 ω は上昇流、Rは降水強度である。

2.2 総観規模気象データファイルの概要

GPVデータの格子点は、緯度経度20分（約30km）の間隔で日本全域を覆いつくしており、現時点でその数は3600個である。これらの格子点は、緯度経度2度毎、つまり6×6の格子点から成る100個の小領域に分割され、それぞれの小領域が1つの単位となっている。しかし、PHYSICの風速場計算の初期条件及び境界条件を設定するために必要なGPVデータの格子点は数十個程度（計算領域が100km×100kmの場合には5×5）で、GPVの小領域と一致するとは限らない。そこで、モデル計算に先だち、必要な格子点のデータだけを抜き出して、モデルに入力するのに適した形式のファイルを作成することが必要である。PHYSIC用の総観規模気象データファイルとして、以下に記す形式を用いることとした。

・総観規模気象データファイルフォーマット

年月日、時分秒

x 格子数、y 格子数、z 格子数

（以下 x 格子数× y 格子数繰り返し）

緯度、経度

P, u, v, T, T-T_d, R (Surface)

z, u, v, T, T-T_d (900hPa)

z, u, v, T, T-T_d, θ (850hPa)

z, u, v, T, T-T_d, ω (700hPa)

z, u, v, T, T-T_d (500hPa)

ここで、データ項目を表す記号はGPVデータと同じ。

2.3 総観規模気象データファイル作成プログラム

GPVデータから必要な格子点のデータを抜き出して、PHYSIC計算用の総観規模気象データファイルを作成するプログラムを開発した。GPVデータには、地上のデータである日本域5要素と上層のデータである日本域23要素があり、前者は1時間間隔、後者は3時間間隔でデータがあるので、日本域23要素に合わせて3時間毎に両者をまとめて1つのファイルにした。また、GPVデータには数値予報の初期値である現況解析値も含まれているので、初期化時刻（09JST及び21JST）のファイルには現況解析値を用いた。このプログラムは以下の順で気象データファイルを作成する。

①総観規模気象データファイルの条件設定

総観規模気象データファイルの作成に必要なモデル計算領域情報として、対象とするサイト名、領域の基準点として用いるサイトの緯度経度、計算領域南西X座標及びY座標、計算領域東西長及び南北長を設定する。また、必要なGPVデータのファイル名及びPHYSIC気象データファイル名を入力する。

②モデル領域の緯度経度計算

①の情報を基に、モデル計算領域四隅の緯度経度を計算し、PHYSIC気象データファイル作成に必要なGPVデータの格子点を求める。モデル計算領域の大きさは、対象サイトからの距離により設定されているので、距離を緯度経度に換算する基準として、地球楕円体の式(1)及び(2)を用いて計算された対象サイトの緯度経度における緯度1度、経度1度の弧長を用いた。

$$L_1 = \pi * A * \cos \phi / (180 * (1 - \varepsilon^2 * \sin^2 \phi)^{1/2}) \quad (1)$$

$$L_2 = \pi * A * (1 - \varepsilon^2) / (180 * (1 - \varepsilon^2 * \sin^2 \phi)^{3/2}) \quad (2)$$

ここで、 L_1 及び L_2 はそれぞれ経度及び緯度1度に対する弧長、 A は赤道半径 (=6,378,136m)、 ε は離心率 ($\varepsilon^2=0.006694470$)、 ϕ は緯度である。

③日本域23要素の入力

日本域23要素のデータを読みだし、②で求めたPHYSIC気象データファイルの格子点のデータを検索する。

④日本域5要素の入力

日本域5要素のデータを読みだし、②で求めたPHYSIC気象データファイルの格子点のデータを検索する。

⑤総観規模気象データファイルへの出力

③、④で読みだしたデータをPHYSIC用総観規模気象データファイルに書き出す。この時、日本域5要素は3時間間隔のデータのみ使用する。ただし、降水強度については解析値以外は過去2時間までの平均とする。2.2のフォーマットに従い、各時刻毎に1つのファイルを作成する。

3. PHYSIC の改良

3.1 モデルの概要

PHYSICは、メソスケール大気力学モデルと粒子拡散モデルから成る。大気力学モデルは、大気の運動方程式、熱エネルギー保存式等の方程式系を差分法により数値的に解き、気象場の時間変化を予報的に求めるモデルであり、粒子拡散モデルは、大気中の物質の拡散を多数の粒子により模擬するモデルである。モデルの詳細については他の文献^{4,5)}に示されているので、ここでは大気力学モデルの基本方程式系について述べる。

大気力学モデルは、Boussinesq近似及び静水圧近似を用いており、予報方程式である運動方程式及び熱エネルギー方程式から風速水平成分と温位を計算し、水平風速から連続方程式を用いて鉛直風が求められる。運動方程式及び熱エネルギー方程式に含まれる乱流量は、レベル2.5乱流クロージャーマデル⁶⁾を用いて計算される。この乱流クロージャーマデルは、乱流運動エネルギーと乱流長さスケールを予報的に計算することができる。また、地表面温度は、地中の熱伝導方程式と地表面熱収支方程式を解いて求められる。座標系は、地形準拠z*座標系を用いている。この座標系は、鉛直座標が地形の起伏に沿うように配置されており、地形の効果を取り入れた計算が可能である。

大気中の方程式の境界条件は、下部境界では、Monin-Obukhovの相似則を用い、上部境界では、風速及び温位は勾配なし、乱流量には0を与え、側面境界では、乱流量にはRadiative Conditionを用い、風速及び温位については、式(3)のように外部条件として与えられた境界の値をRadiative Conditionに外力項として加える条件を用いている。

$$\partial \phi / \partial t + C * \partial \phi / \partial n = -A * (\phi - \phi_b) \quad (3)$$

ここで、 ϕ は対象とする変数、 t は時間、 n は側面境界に垂直な方向の長さ、 C は波動の位相速度で内側の格子点の値から計算する。また、右辺が外力項で、 ϕ_b は外部条件として与えた境界値、 A は外力の大きさを決定する係数で、2000m以下では高度に比例して0から 10^{-3}s^{-1} まで変化して、それより上では 10^{-3}s^{-1} の一定値である。右辺を0で置き換えるとRadiative Conditionになる。外部条件として与える境界値の設定には、入力した気象データからモデル境界の値を内外挿により求める方法と、大きさの異なる計算領域を入れ子状に重ね、各時間ステップ毎に外側領域の計算結果を内挿して内側領域の境界値に用いるネスティングの方法のどちらかを用いる。これら2つの方法は、初期値の設定にも用いられている。

地表面温度計算においては、熱伝導方程式の地中温度伝導率や熱収支方程式の地表面の射出率及びアルベド等のパラメータを決定するために、地表面の湿潤度を、外部条件の日射量及び大気放射量を計算するために、雲量を入力する必要がある。また、海面温度については、モデル内で時間変化の計算を行わず、計算期間を通して一定温度である。この温度は、初期値として入力する必要がある。

3.2 計算コードの改良

PHYSICの計算コードは全てFORTRAN77で記述されており、プログラムは、初期化や結果の出力、各物理量の計算過程毎に、サブルーチンに細分化されている。計算の流れ及び時間積分ループ内の時刻管理はメインルーチンにより制御され、サブルーチン間のデータの授受はほとんどの場合COMMON文を介して行われる。計算の流れをFig.1に示す。モデルは気象場計算と拡散計算を同時に行うが、気象場計算のみ行うこともできる。この場合は、流れ図中の破線の四角で示した計算過程は行われない。

今回改良を行ったのは、気象データを入力し初期値を設定する過程及び気象データを時間内挿する過程についてである。従来は計算領域内にある1点の高層観測データから作成した鉛直分布のデータを入力し、水平方向は一様としてモデル格子点に外挿していたが、GPVデータを基に作成した気象データファイルから、3次元分布のデータを入力しモデル格子点に内挿するように計算コードを修正した。さらに、入力した気象データを用いて地表面湿潤度と雲量を計算する過程を開発し、モデルに追加した。また、GPVデータには含まれない海面温度等の気候値については、気象データファイルとは別に、気候ファイルを作成し入力するようにした。

これらの改良にともない、地表面温度計算及び圧力計算の過程についても修正を行った。従来のモデルの地表面温度計算においては、太陽放射及び大気放射を計算する際の雲量及び可降水量、接地層の潜熱フラックス計算に用いる接地層比湿が、気象データファイルから入力する水平一様の値を用いていたのに対して、改良したモデルでは、モデル内で計算した水平分布を持つ値を用いるようになった。圧力計算過程で用いる上部境界の地衡風についても、従来のモデルでは、水平一様な地衡風を気象データファイルから入力していたが、GPVデータの等圧面高度分布から計算した地衡風を用いるように修正した。改良の詳細を以下にまとめる。

1) 気象データの入力

従来のモデルでは、高層気象観測データを用いて(a)に示すような風速及び気温の鉛直分布のデータと上部境界地衡風や雲量等の水平一様なデータを作成し入力を行っていた。改良後のモデルでは、GPVデータから作成した(b)に示すような大気中

の変数については3次元分布、地表の変数については2次元分布のデータを入力するようにした。従来のモデルの風速及び気温の鉛直分布は高層気象観測データをそのまま用い、接地層比湿は地上気温と相対湿度から計算し、上部境界の地衡風と水平温位勾配は風速と温位の鉛直分布から求める方法³⁾を用いていたが、雲量及び地表面湿潤度については、雲量の目視観測データ及び雨量データが無い場合には、入力データを求めるための明確な手段が無かった。しかし、改良により、これらのデータは全て、入力したG P Vのデータを用いてモデル内で計算するようになった。これらの計算過程については後で述べる。また、海面温度等の気候値については、気象データファイルとは別に気候値ファイルを作成して入力するようにした。気候値ファイルは、対象とするサイト毎に作成され、計算領域内の平均的な値を用いて、1か月間隔で1年間の変化を表している。この1か月間隔のデータを内挿して、計算期間の値を求める。

(a) 従来のモデルの入力

上部境界地衡風向	: 水平一様、12時間間隔の時間変化
上部境界地衡風速	: 同上
接地層比湿	: 同上
地表面湿潤度	: 同上
上層雲量	: 同上
中層雲量	: 同上
下層雲量	: 同上
等圧面高度	: 鉛直分布（指定等圧面）、12時間間隔の時間変化
等圧面気温	: 同上
等圧面風向	: 同上
等圧面風速	: 同上
東西方向水平温位勾配	: 鉛直分布、12時間間隔の時間変化
南北方向水平温位勾配	: 同上
海面温度	: 水平一様、時間変化なし
地表面温度	: 海拔高度0mの値、初期値
地表面温度鉛直勾配	: $-6.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ の一定値
地中最深層温度	: 海拔高度0mの値、時間変化なし

(b) 改良モデルの入力

気象データファイルから	
G P V格子点緯度経度	: 緯度経度各2分間隔

等圧面高度	: G P V 格子点の 3 次元分布、3時間間隔の時間変化
風速東西成分	: 同上
風速南北成分	: 同上
気温	: 同上
湿数（気温－露点温度）	: 同上
地上気温	: G P V 格子点の地表面分布、計算開始24時間前から 3時間間隔の時間変化
降水強度	: 同上

気候値データファイルから

海面温度	: 水平一様、1か月間隔の時間変化
鉛直地中温度勾配	: $-6.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ の一定値
地中最深層温度	: 海拔高度0mの値、1か月間隔の時間変化
雪線高度	: 水平一様、1か月間隔の時間変化

2) 初期値の設定（気象データの空間内挿）

入力する気象データの形の変更にともない、初期値を設定するために、気象データをモデルの格子点に内挿（外挿）する方法も修正した。従来のモデルでは、風速は鉛直方向については入力値を直線内挿し、水平方向は一様として外挿し、温位は鉛直方向は風速同様直線内挿、水平方向は水平温位勾配を考慮して外挿していた。また、地表面温度及び地中最深層温度は、地面の高度による温度差を考慮して格子点値を与え、その他のデータについては、水平一様であるので、その値を格子点に与えていた。改良後のモデルでは、3次元分布のデータが有るので、水平方向と鉛直方向どちらも内挿してモデルの格子点値を得るようにした。また、水面以外の地表面温度については、大気第1層の気温を与えるようにした。以下に空間内挿の手順を述べる。

①緯度経度座標から直角座標への変換

G P V データの格子点の緯度経度座標を、対象サイトを原点とする直角距離座標に変換する。この時、緯線と経線は直交していると考え、サイト地点の緯度経度1度の弧の長さを基準に距離を求める。弧の長さは地球楕円体の式(1)及び(2)から求める。

②等圧面（または地表面）内での内挿

各等圧面（または地表面）上で、G P V の格子点から P H Y S I C の格子点へ内

挿する。内挿には3次のスプラインを用いて、東西軸に平行な線上、南北軸に平行な線上の順に行う。

③鉛直方向の内挿

②で得られたPHYSIC格子点における各等圧面（または地表面）の値を、鉛直格子点に直線内挿する。

3) 気象データの時間内挿

従来のモデルでは、各時間ステップで気象データを時間内挿した後に、初期値の設定と同じ方法によりモデル境界の値を求めて、境界条件の設定を行っていた。しかし、改良モデルでは、水平方向の内挿にスプライン内挿を用いているので、各時間ステップで空間内挿を行うと、計算時間が大幅に増加してしまう。そこで、初期値設定の過程で入力した気象データを全て空間内挿して境界の値を求めておき、その値を各時間ステップで時間内挿して境界条件の設定を行うようにした。

4) 地表面湿潤度計算

地表面温度計算過程における地中熱伝導方程式及び地表面熱収支式に含まれる地中熱伝導度、地表面のアルベド及び射出率等のパラメータを決定するために、地表面湿潤度をモデルに入力する必要がある。従来のモデルでは、地表面湿潤度を、降水量のデータ等から主観的に決定していたが、GPVデータの使用にともない、地表面湿潤度を客観的に求める簡単なモデルを開発した。地表面湿潤度は、計算開始24時間前までの降水強度及び地上気温から、地表の水分量及び水分状態を計算して求め、3時間間隔の値が地表面の各格子点に与えられる。以下に計算過程を述べる。

地表面湿潤度は、従来のモデルで用いられていたものをそのまま用いており、水分量及び水分の状態から次の5つの段階に分けられる。

- 1 DRY : 乾燥
- 2 MID : 乾燥と湿潤の中間
- 3 WET : 湿潤
- 4 OLD : 古い雪
- 5 NEW : 新雪

水分の状態は、新雪、古い雪及び液体の水の3つの状態で、水分量は整数により段階を表し、0を乾燥、1を乾燥と湿潤の中間、2以上を湿潤とする。水分状態と水分量は、2つの過程によって決定する。1つは降水過程で、GPVデータの予報時

刻毎に行われ、降水強度がしきい値を超えた場合に地上気温により降雨と降雪を判断して、水分状態と水分量を決定する。この時、降水量を地表の水分量と同様に降水強度に応じた整数で表し、地表の水分量に加算する。もう1つは、融雪と蒸発の過程で、1つの降水過程から次の降水過程までの間の水分状態の変化と水分量の減少を計算する。各過程における水分状態と水分量の変化のようすをFig.2に示す。

降水過程では、降水の有無を判断する降水強度のしきい値は、0.1mm/hで、地上気温が3℃以下の場合を雪とする。降雪の場合には、水分状態は新雪となり、もとの状態が雪の時は降雪量を水分量に加算し、その他の状態の時は降雪量が水分量となる。降雨の場合には、もとの状態が雪の時は降雨量に応じて古い雪または湿潤状態となり、雪でないときには降雨量を加算した水分量により湿潤または乾燥と湿潤の間となる。

融雪と蒸発の過程では、雪の場合とそれ以外の場合で大きく異なる。雪以外の場合には、水分量が1段階減少し、その水分量に応じて湿潤度が決まる。雪の場合には、地上気温が3℃以下の時は状態及び水分量に変化はなく、3℃を超えたとき新雪は水分量は変わらずに古い雪に変化し、古い雪は水分量が1段階減少する。また、古い雪は水分量が1の時に3℃を超えると乾燥と湿潤の中間に変化する。

以上の過程の初期状態は、気候値データとして入力した雪線高度を用いて設定される。雪線高度より低い地点では乾燥状態、雪線高度から200m高い地点までは古い雪状態、それより高い地点では新雪状態とする。

5) 雲量計算

従来のモデルでは、目視観測等のデータを基にして雲量を求め、モデルに入力していたため、雲量のデータが無い場合には、雲量を設定する手段はなかった。そこで、GPVデータから雲量を計算する過程を開発した。等圧面露点温度と気温から計算した相対湿度を用いて、相対湿度と雲量の関係式から雲量を計算する。雲量は、存在する高度により、高層雲量、中層雲量、低層雲量の3種類に分類する。関係式には、観測に基づく統計結果⁷⁾を用いて作成した次式を用いる。

$$CL = 0 \quad , \quad RH < RH_c \quad (4)$$

$$CL = \text{MIN}(1, A*(RH - RH_c)^2 + B*(RH - RH_c)) \quad , \quad RH \geq RH_c$$

ここで、CLは雲量(0~1)、RHは相対湿度(0~1)、RH_cは雲が存在する最小相対湿度である。A及びBは、最小二乗法により求めた係数である。高層雲量、中層雲量及び低層雲量に対するRH_c、A、Bの値をTable 1に示す。

関係式(4)に用いる相対湿度は、低層雲量には850hPa面のデータを用い、中層雲量には700hPa及び500hPa面のデータを用いる。この時、中層雲量が低層雲量より小さい場合は、中層雲量には低層雲量の値を用いる。高層雲量は、400hPa面のデータが必要であるが、GPVデータには含まれていないので計算で求めることはできない。そこで、中層雲量の値を与える。

6) 上部境界の地衡風

従来のモデルでは、圧力計算の上部境界条件として、上部境界での地衡風を入力する必要があり、高層気象観測の風速または高層天気図から求めた値を用いていたが、改良モデルでは、GPVデータの等圧面高度分布を用いてモデル内で地衡風を計算するようにした。地衡風計算は以下の手順でおこなわれる。

モデル中央の上端における気圧と等圧な面の高度 ($Z_{TOP}(X, Y)$) を500及び700hPaの等圧面高度から次式により求める。

$$Z_{TOP}(X, Y) = Z_{700}(X, Y) + (Z_{500}(X, Y) - Z_{700}(X, Y)) \\ * (HZZ - Z_{700}(25, 25)) / (Z_{500}(25, 25) - Z_{700}(25, 25)) \quad (5)$$

ここで、 $Z_{700}(X, Y)$ は700hPa面高度、 $Z_{500}(X, Y)$ は500hPa面高度、HZZはモデル上端高度である。この等圧面高度分布はモデル上部境界での等圧面の傾度と等しいと仮定して、等圧面の傾度から地衡風を求める式(6)及び(7)を用いて、上部境界の地衡風を計算する。

$$U_g = -g*f^{-1}*dZ/dY \quad (6)$$

$$V_g = g*f^{-1}*dZ/dX \quad (7)$$

ここで、 U_g 、 V_g は地衡風の東西成分及び南北成分、 g は重力加速度、 f はコリオリパラメータである。

4. 再現計算

4.1 計算条件

GPVデータを用いた予報計算の試験を行うために、磁気テープに記録されたGPVデータを利用して、原研東海研究所を対象サイトとした風速場再現計算を行った。再現計算では、大小2つの入れ子状に重なる計算領域を設定し、外側の計算領域の計算結果を内側の計算領域の境界値に用いるネスティング計算を行った。2つの計算領域の位置関係、モデル領域内の地形分布及び使用したGPVデータの格子点の配置をFig. 3に示す。領域1は、原研東海研究所を基準にして西側70kmから東側30kmまで、南側60kmから北側40kmまでの100km×100kmで、ほぼ茨城県全域を含んでいる。一方、領域2は、西側35kmから東側15kmまで、南側30kmから北側20kmまでの50km×50kmで、領域1の1/4の面積を持つ。領域1、2ともに鉛直方向は4.4kmとした。格子数は領域1、2どちらも水平方向が50×50で格子間隔は等間隔であり、鉛直方向は30で、格子間隔は地表付近での10mからモデル上端での400mまで高度とともに間隔が大きくなる配置とした。計算は21JSTに初期化を行い翌日の24時までの27時間とした。時間増分は領域1を30秒、領域2を15秒とした。

4.2 計算結果

磁気テープにより入手したGPVデータは、1994年1月及び7月の各1か月間である。このデータを用いて、計算領域1を対象としたPHYSIC気象データファイル(2.2及び2.3参照)を作成し、以下の2ケースについて再現計算を実施した。

1) 冬季北西季節風のケース(1994年1月7日)

Fig. 4は原研東海研究所のドップラーソーダーにより測定された高度50mの風速とモデル計算値の時間変化、Fig. 5は水戸地方気象台の地上風観測値とモデル計算値の時間変化であり、地上付近の風速時間変化を比較したものである。計算値はネスティングを用いた計算領域2での計算結果である。地上風向はほぼ北西で一定していて、風速は08JSTまでは比較的小さく、日中に増大し15JST前後にピークとなった後急速に弱まった。モデルは、風向については西よりになっている時間帯もあるがほぼ再現できており、風速についても18JST以後の変化を再現できていないが全体としては良く再現できている。

Fig. 6及びFig. 7は、計算領域1と2での、風速がピークとなる15JSTにおける地上風計算値及び観測値の分布である。地上風の観測値は全体的には北西風であるが、大きく風向が異なる地点もあるのに対して、モデル計算値は全域で北西風である。

風向が異なる地点については、モデル内では考慮できない地形による影響が大きいと考えられる。

2) 夏季海風状風速分布のケース (1994年7月21日)

Fig. 8及びFig. 9は、地上付近の風速変化で、1月7日のケースと同様に、計算領域2の計算値と原研東海研究所のドップラーソーダー及び水戸地方気象台の観測値との比較である。地上風向は、06JST頃まで西から北の風向で、その後東から南の風向に変化しており、07JST前後から海風が侵入し始めたと考えられる。この海風は15JST前後に風速が最大値となった後弱まるが、夜間まで続いていた。モデルの計算値は、風速については良く一致しており、風向についても、東海研究所地点での海風風向への変化の時刻が早くなっていることを除けばほぼ再現できている。

Fig. 10及びFig. 11は、計算領域1と2での、海風の風速が最大となる15JSTにおける地上風計算値及び観測値の分布である。計算領域1の全域で、風向と風速ともに分布を良く再現できている。

5. ま と め

高精度拡散評価モデルPHYSICの風速場再現性を向上させるとともに、緊急時における迅速な放射能拡散評価及び予報を可能にするために、気象庁の総観規模数値予報モデルの出力であるGPVデータを用いて初期値及び境界値を設定するようにモデルを改良した。さらに、外部条件として入力が必要な雲量、接地層比湿、地表面湿潤度等についても、GPVデータから推定して空間分布及び時間変化を設定することができるようにした。また、GPVデータには含まれない海面温度等の気候値については、新たに作成した気候ファイルから入力を行うようにした。

GPVデータを用いた予報計算の試験を行うために、磁気テープに記録されたGPVデータを利用して、原研東海研究所を対象サイトとした風速場再現計算を行った。1994年1月の北西季節風時及び7月の海風状風速分布について計算を行った結果、風速の計算値は、観測値と良く一致していた。

今後は、期間を変えて多様な気象条件下での再現計算を行い、さらに他の地域についても計算事例を積み重ねることで、モデルの適用性の検証及び改良を行う。

参 考 文 献

- 1) H. Yamazawa: Verification Study of a Three-Dimensional Local Scale Atmospheric Model PHYSIC at Seacoast Region, JAERI-M 89-082 (1989).
- 2) 山澤弘実: 筑波山周辺での拡散実験の解析とシミュレーション計算, 天気 39, 605-613 (1992).
- 3) 永井晴康, 山澤弘実: 3次元大気力学モデルの改良及び海岸複雑地形での風速場再現計算, JAERI-Research 94-040 (1994).
- 4) H. Yamazawa: Development of a Three-Dimensional Local Scale Atmospheric Model with Turbulence Closure Model, JAERI-M 89-062 (1989).
- 5) 山澤弘実: 高精度拡散評価モデル PHYSIC, JAERI-M 92-102 (1992).
- 6) T. Yamada: Simulations of Nocturnal Drainage Flows by a q^2 Turbulence Closure Model, J. Atmos. Sci., 40, 91-106 (1983).
- 7) 大野久雄, 伊佐真好: GMS 観測に基づく総観スケール雲量と相対湿度の統計的關係, 天気 31, 493-495 (1984).

Table 1 高度別に分類した雲量に対する計算式(4)の係数A, B及び雲が存在する最小相対湿度 RH_c の値。

Cloud Category	Height (Pressure)	RH_c	A	B
High Cloud	400 hPa	0.32	3.70	0.83
Middle-1 Cloud	500 hPa	0.35	6.49	-0.46
Middle-2 Cloud	700 hPa	0.43	8.68	-0.18
Low Cloud	850 hPa	0.55	7.33	2.17

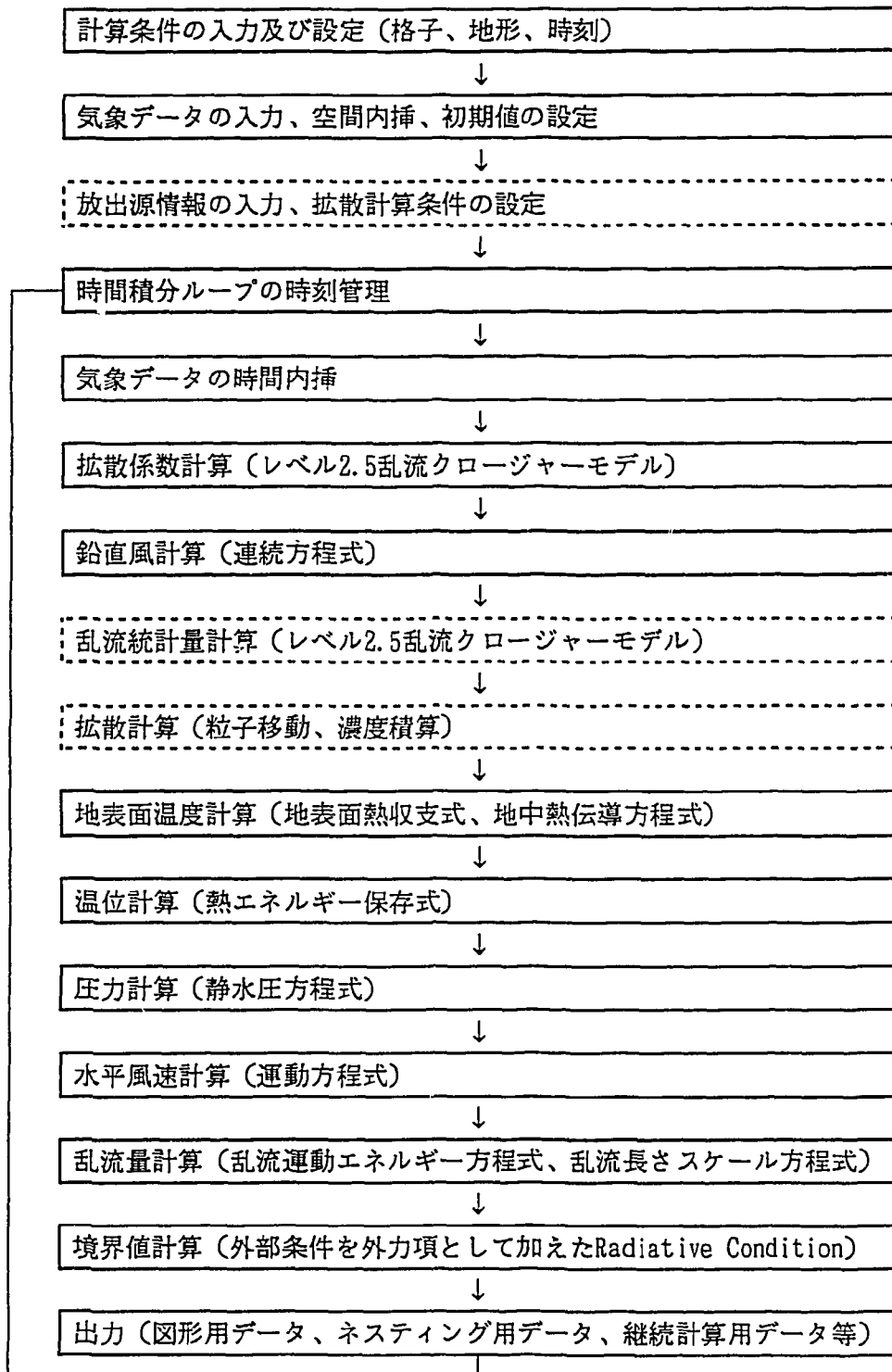


Fig. 1 PHYSIC の計算の流れ。破線の四角の過程は拡散計算を行う時だけ使用する。

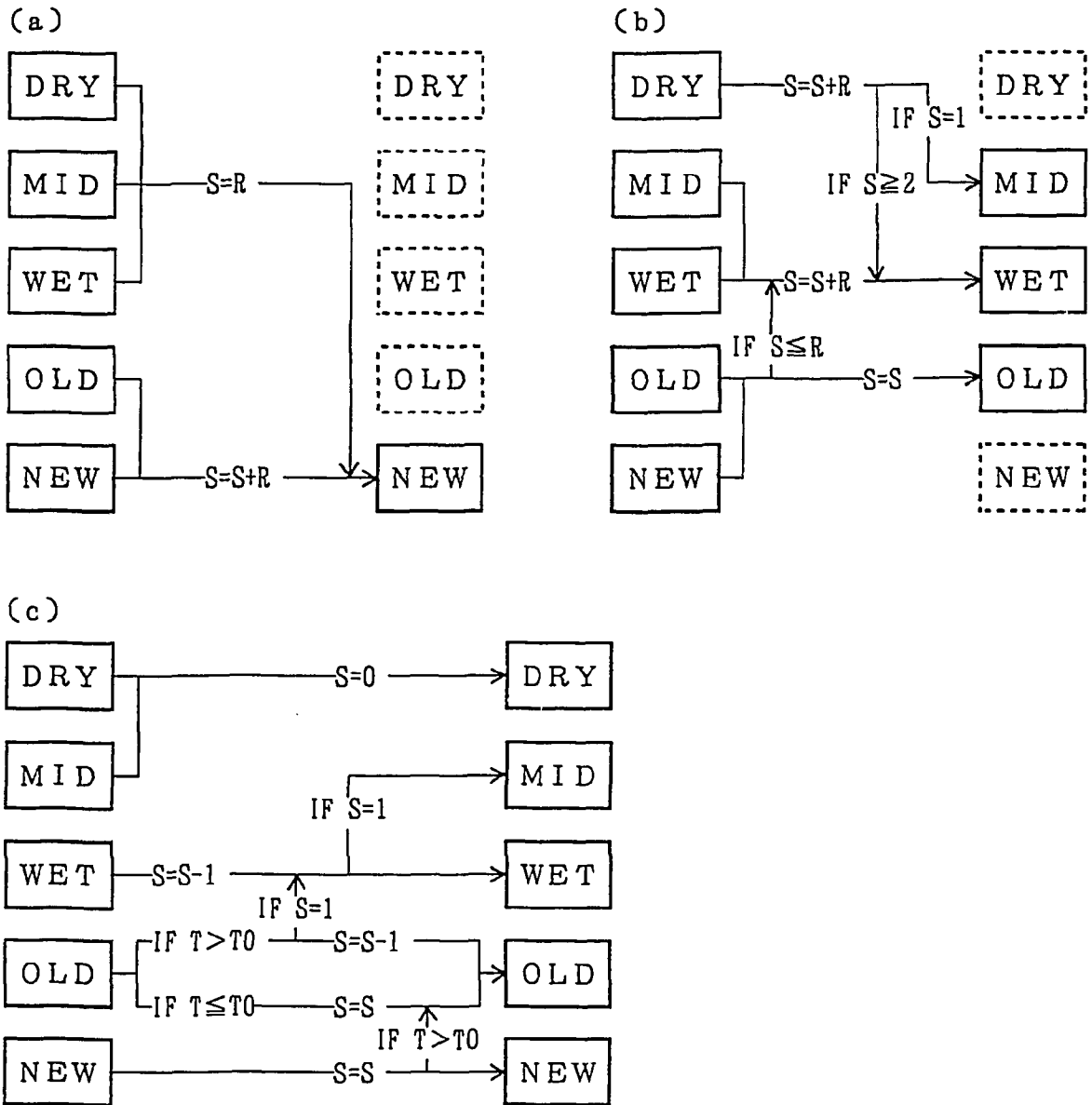


Fig. 2 地表面湿潤度の計算における, (a)降雪過程, (b)降雨過程, (c)融雪及び蒸発過程。
 図中の式で, Sは地表面水分量, Rは降水量, Tは地上気温, $T_0 = 3^{\circ}\text{C}$ である。

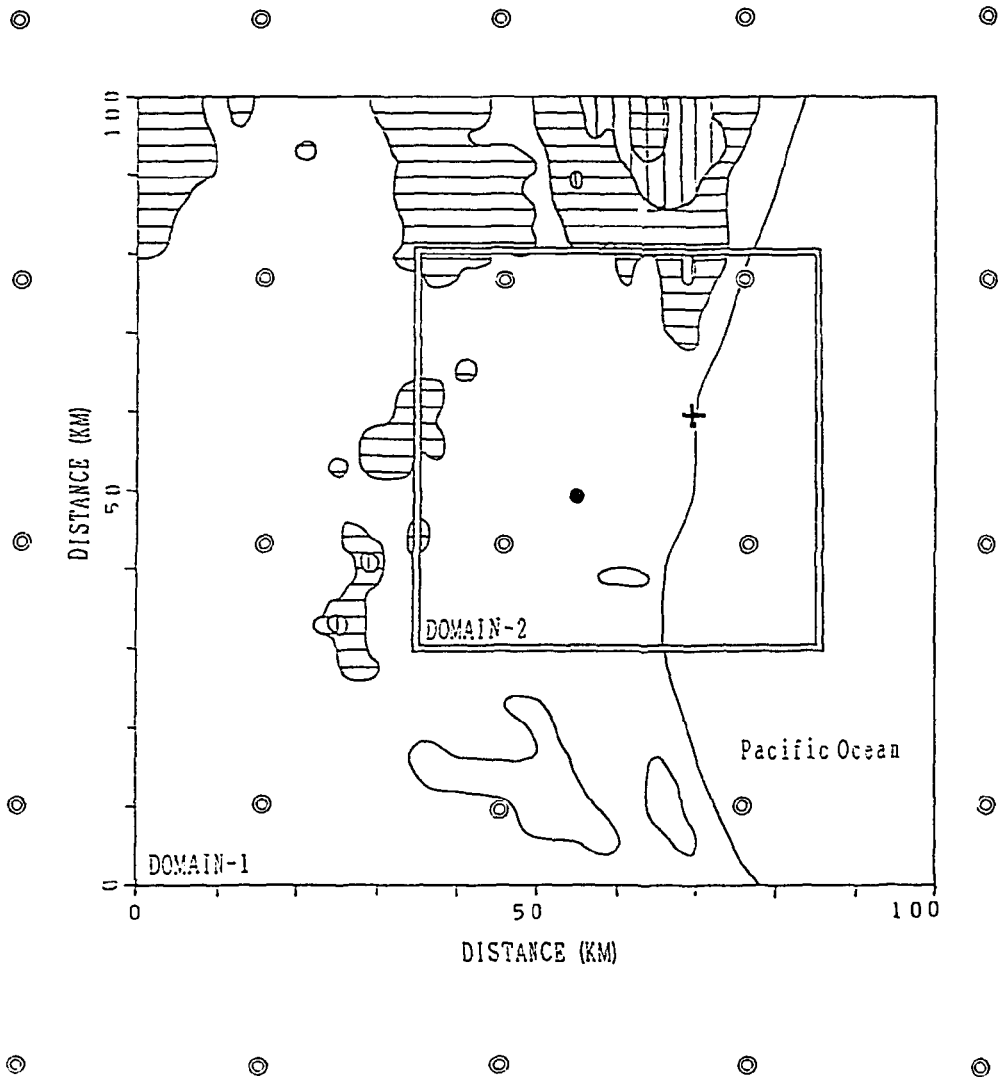


Fig. 3 ネスティング計算領域 1, 2 の位置関係, モデル領域内の地形分布及び使用した GPV データの格子点配置。等高線 (ハッチをつけた部分) は 200m 間隔, ◎印は GPV データの格子点配置, + 印は原研東海研究所の位置, ●印は水戸地方気象台の位置を示している。

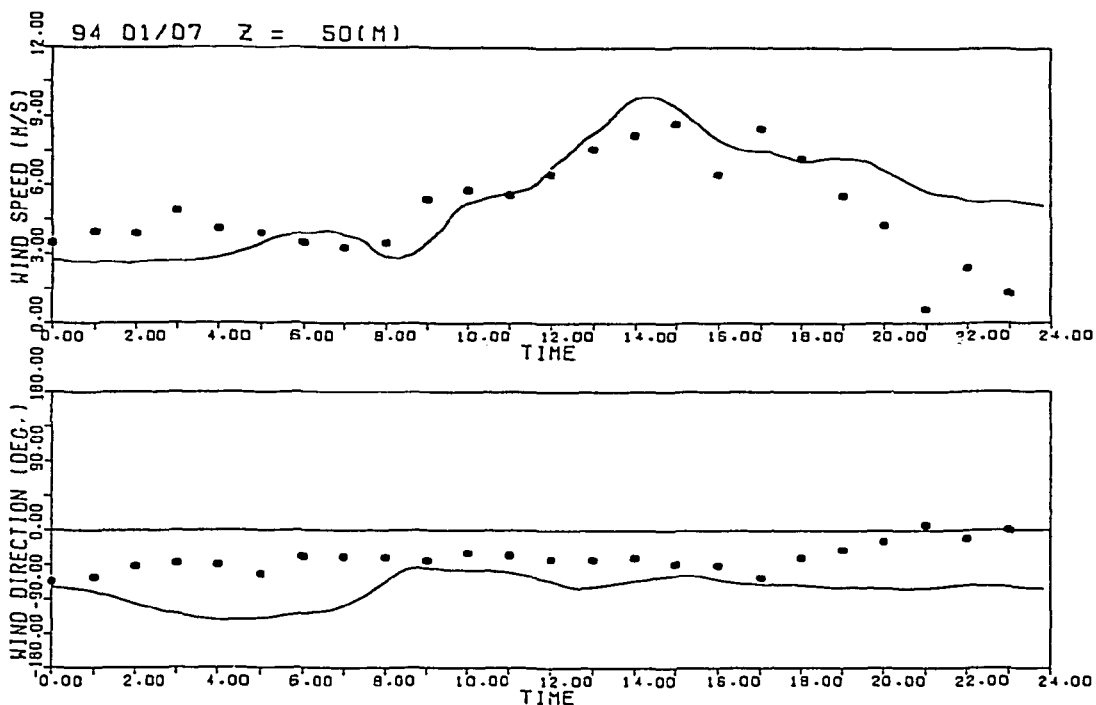


Fig. 4 原研東海研究所のドップラーソーダーにより測定された高度 50m の風速とモデル計算値の時間変化 (1994 年 1 月 7 日)。実線は計算値, ●印は観測値を示している。

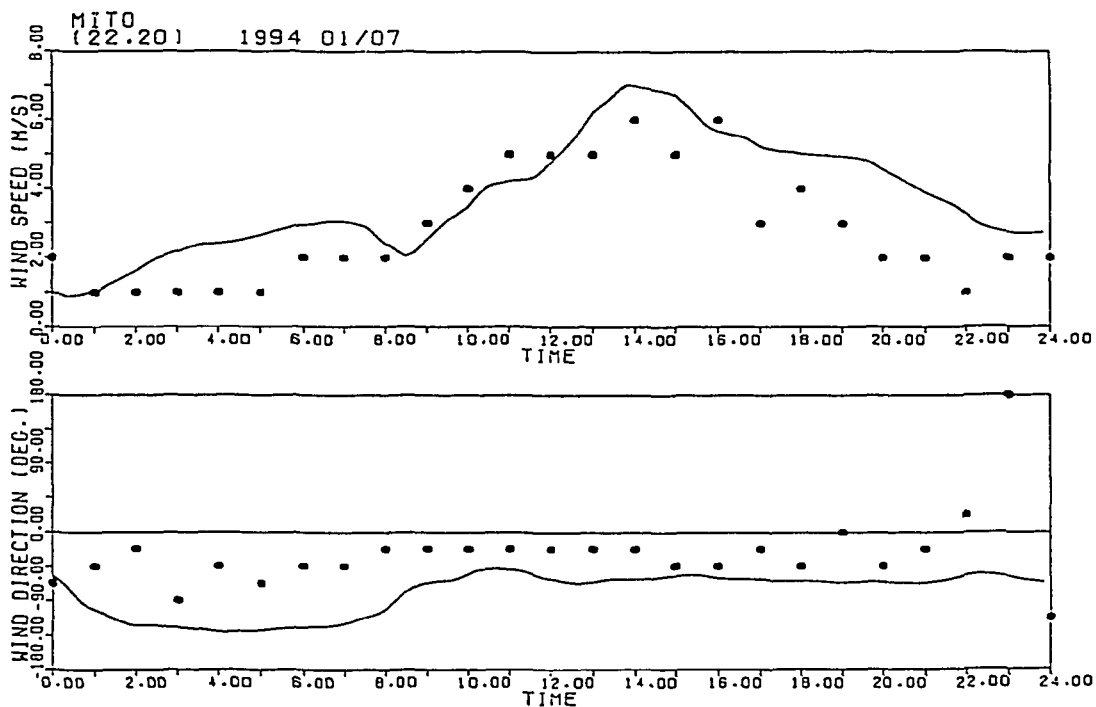


Fig. 5 水戸地方気象台の地上風観測値とモデル計算値の時間変化 (1994 年 1 月 7 日)。実線は計算値, ●印は観測値を示している。

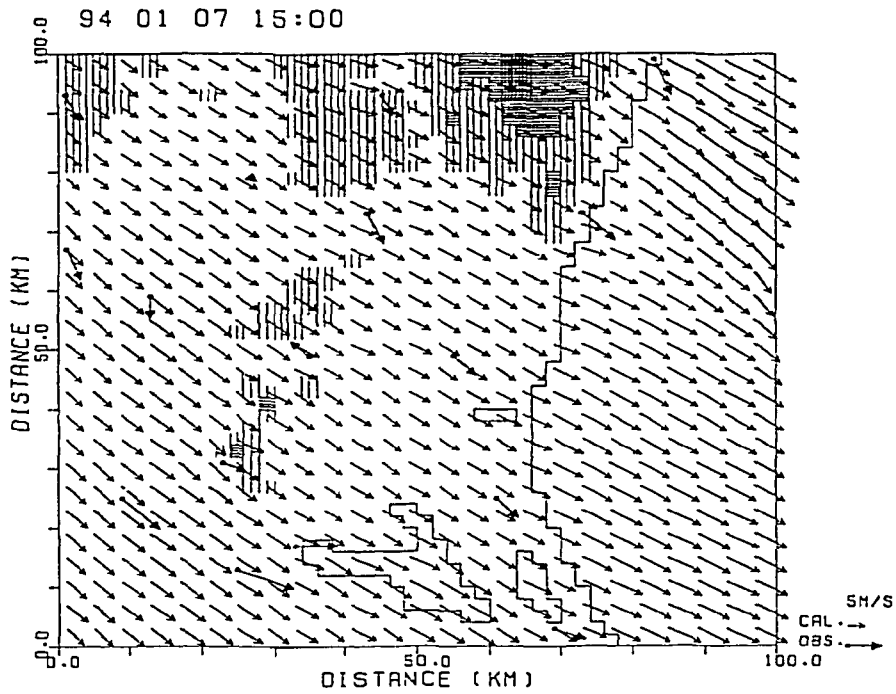


Fig. 6 計算領域1の地上風計算値及び観測値の分布
(1994年1月7日15JST)。

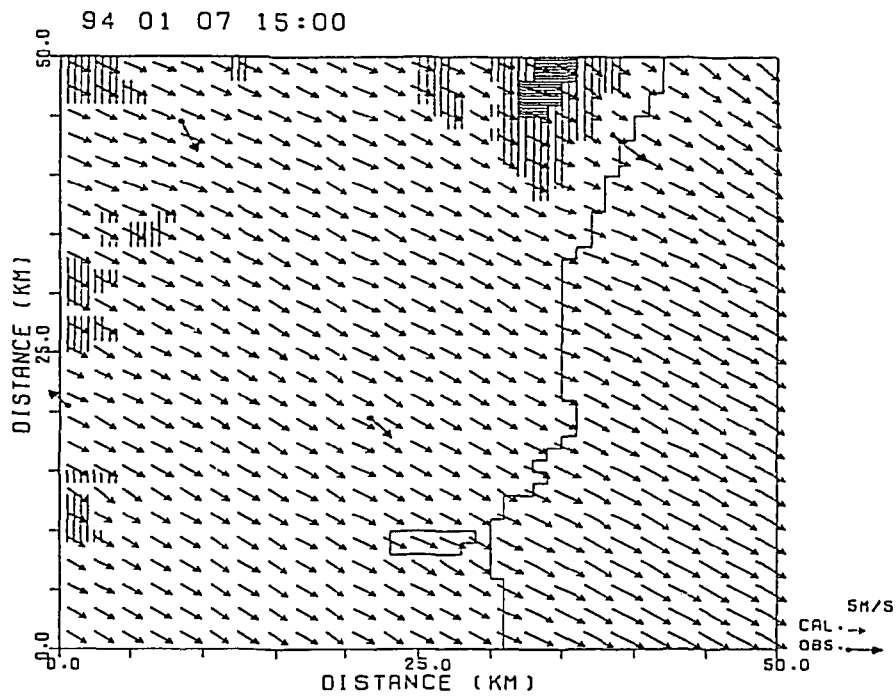


Fig. 7 計算領域2の地上風計算値及び観測値の分布
(1994年1月7日15JST)。

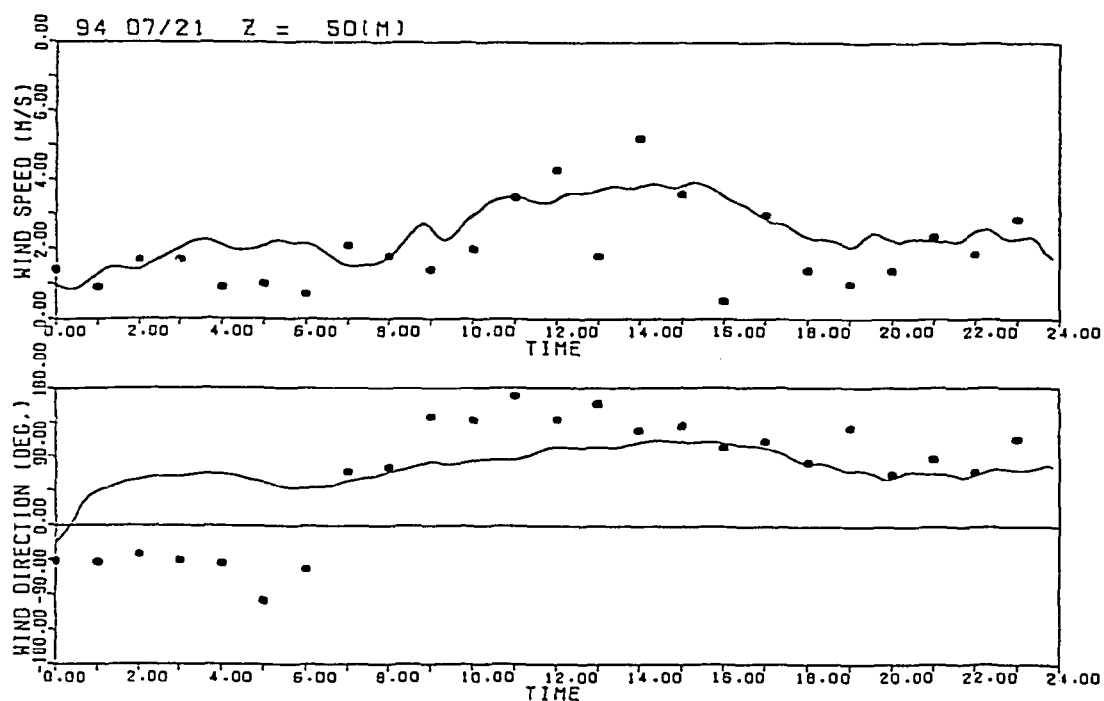


Fig. 8 原研東海研究所のドップラーソーダーにより測定された高度50mの風速とモデル計算値の時間変化(1994年7月21日)。実線は計算値, ●印は観測値を示している。

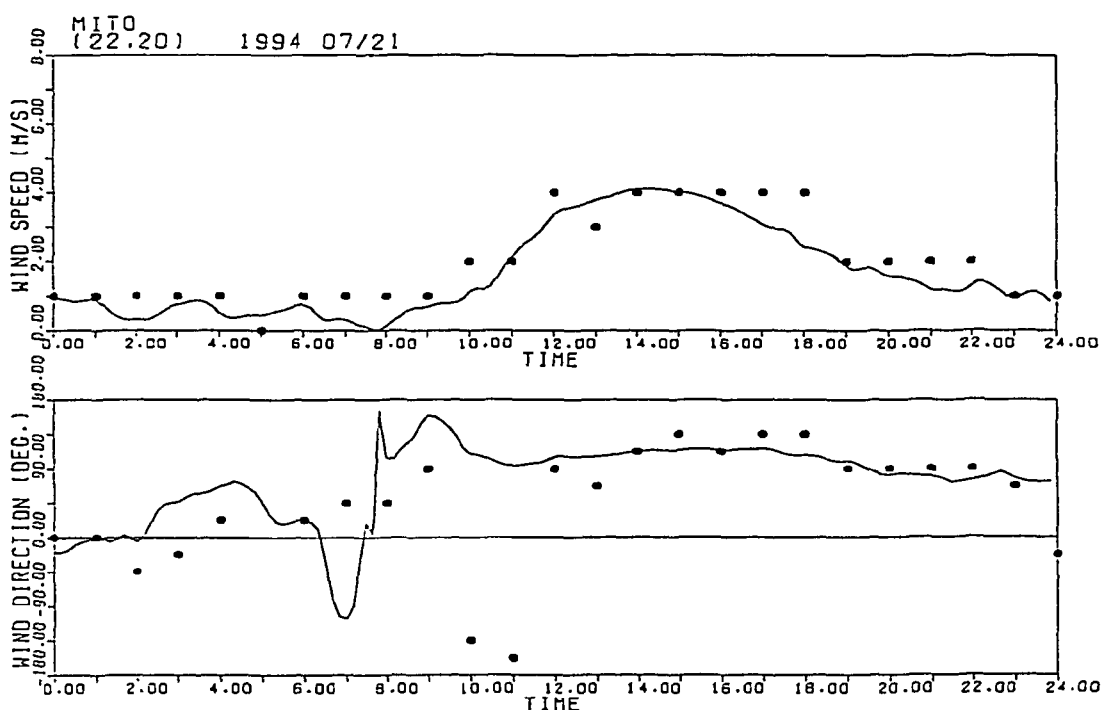


Fig. 9 水戸地方気象台の地上風観測値とモデル計算値の時間変化(1994年7月21日)。実線は計算値, ●印は観測値を示している。

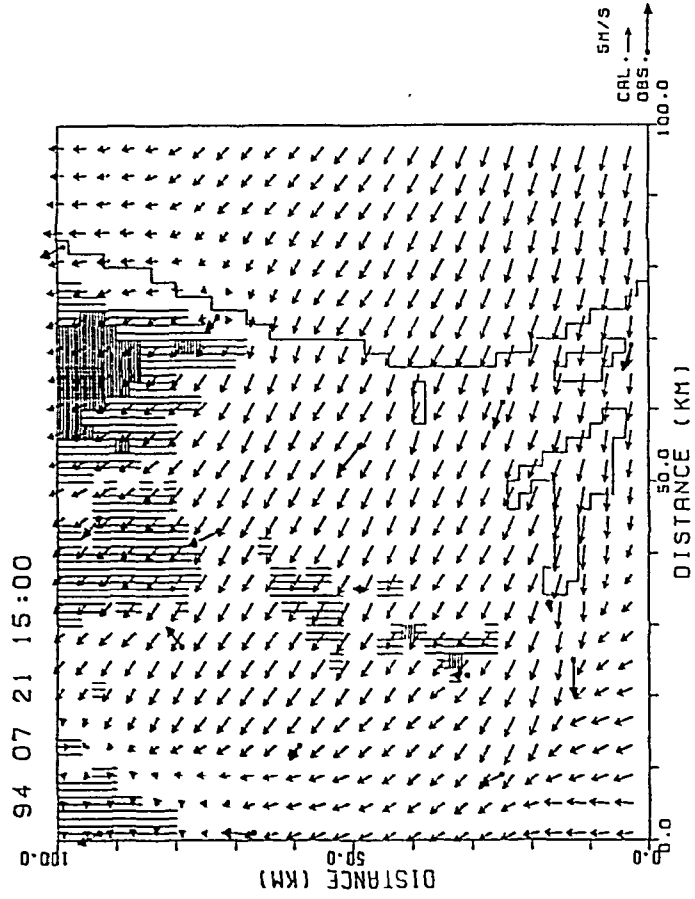


Fig. 10 計算領域1の地上風計算値及び観測値の分布
(1994年7月21日15JST)。

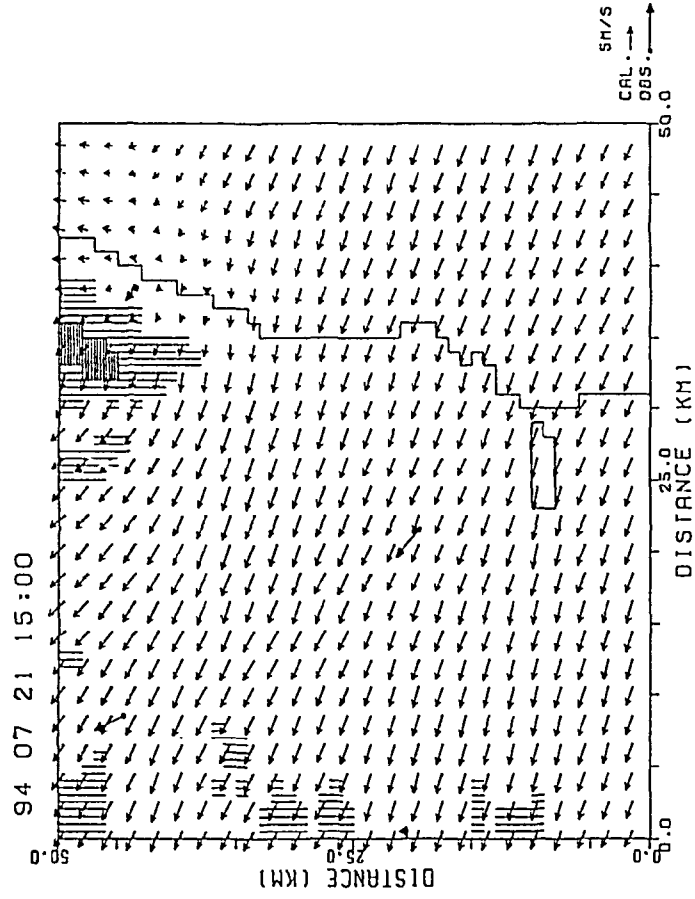


Fig. 11 計算領域2の地上風計算値及び観測値の分布
(1994年7月21日15JST)。

国際単位系 (SI) と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分, 時, 日	min, h, d
度, 分, 秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

1 eV = 1.60218 × 10⁻¹⁹ J
1 u = 1.66054 × 10⁻²⁷ kg

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 ¹⁸	エクサ	E
10 ¹⁵	ペタ	P
10 ¹²	テラ	T
10 ⁹	ギガ	G
10 ⁶	メガ	M
10 ³	キロ	k
10 ²	ヘクト	h
10 ¹	デカ	da
10 ⁻¹	デシ	d
10 ⁻²	センチ	c
10 ⁻³	ミリ	m
10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ⁻¹⁸	アト	a

表3 固形の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m·kg/s ²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N·m
工率, 放射束	ワット	W	J/s
電気量, 電荷	クーロン	C	A·s
電位, 電圧, 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束度	ルーメン	lm	cd·sr
照射量	ルクス	lx	lm/m ²
放射能	ベクレル	Bq	s ⁻¹
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バーン	b
バル	bar
ガリ	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

1 Å = 0.1 nm = 10⁻¹⁰ m
1 b = 100 fm² = 10⁻²⁸ m²
1 bar = 0.1 MPa = 10⁵ Pa
1 Gal = 1 cm/s² = 10⁻² m/s²
1 Ci = 3.7 × 10¹⁰ Bq
1 R = 2.58 × 10⁻⁴ C/kg
1 rad = 1 cGy = 10⁻² Gy
1 rem = 1 cSv = 10⁻² Sv

(注)

- 表1-5は「国際単位系」第5版, 国際度量衡局 1985年刊行による。ただし, 1 eV および 1 uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里, ノット, アール, ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは, JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC閣僚理事会指令ではbar, barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

換 算 表

力	N (=10 ⁵ dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
	9.80665	1	2.20462
	4.44822	0.453592	1

粘 度 1 Pa·s(N·s/m²) = 10 P(ポアズ)(g/(cm·s))
動粘度 1 m²/s = 10⁴ St(ストークス)(cm²/s)

圧	MPa (=10 bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg(Torr)	lbf/in ² (psi)
	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 ³	145.038
力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322 × 10 ⁻⁴	1.35951 × 10 ⁻³	1.31579 × 10 ⁻³	1	1.93368 × 10 ⁻²
	6.89476 × 10 ⁻³	7.03070 × 10 ⁻²	6.80460 × 10 ⁻²	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J (=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft·lbf	eV	1 cal = 4.18605 J(計量法) = 4.184 J(熱化学) = 4.1855 J(15°C) = 4.1868 J(国際蒸気表)
	1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻⁷	0.238889	9.47813 × 10 ⁻⁴	0.737562	6.24150 × 10 ¹⁸	
	9.80665	1	2.72407 × 10 ⁻⁶	2.34270	9.29487 × 10 ⁻³	7.23301	6.12082 × 10 ¹⁹	
	3.6 × 10 ⁶	3.67098 × 10 ⁵	1	8.59999 × 10 ⁵	3412.13	2.65522 × 10 ⁶	2.24694 × 10 ²⁵	
	4.18605	0.426858	1.16279 × 10 ⁻⁶	1	3.96759 × 10 ⁻³	3.08747	2.61272 × 10 ¹⁹	仕事率 1 PS(仏馬力) = 75 kgf·m/s = 735.499 W
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹	
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 ⁻⁷	0.323890	1.28506 × 10 ⁻³	1	8.46233 × 10 ¹⁸	
	1.60218 × 10 ⁻¹⁹	1.63377 × 10 ⁻²⁰	4.45050 × 10 ⁻²⁶	3.82743 × 10 ⁻²⁰	1.51857 × 10 ⁻²²	1.18171 × 10 ⁻¹⁹	1	

放射能	Bq	Ci
	1	2.70270 × 10 ⁻¹¹
	3.7 × 10 ¹⁰	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58 × 10 ⁻⁴	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

メソスケール大気力学モデルPHYSICの改良 — 総観規模数値予報モデルの出力を用いた初期値・境界値の設定 —