

JAERI-M
84-050

SPEEDI: 緊急時環境線量情報予測システム

1984年3月

| | | | |
|----|-------|-------|-----|
| 茅野 | 政道・石川 | 裕彦・甲斐 | 倫明 |
| 本間 | 俊充・日高 | 昭秀・今井 | 和彦 |
| 飯嶋 | 敏哲・森内 | 茂・浅井 | 清 |
| 中村 | 康弘・奥田 | 基*・堀上 | 邦彦* |

JAERI-M レポートは、日本原子力研究所が不定期に公開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、お申しこしてください。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。

JAERI-M reports are issued irregularly.

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

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1984

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 日立高速印刷株式会社

SPEEDI : 緊急時環境線量情報予測システム

日本原子力研究所東海研究所環境安全研究部

茅野 政道・石川 裕彦・甲斐 倫明・本間俊充⁺
日高 昭秀⁺・今井 和彦・飯島 敏哲⁺・森内 茂
浅井 清⁺⁺・中村康弘⁺⁺・奥田 基^{*}・堀上邦彦^{*}

(1984年2月1日受理)

緊急時環境線量情報予測システム SPEEDI (System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information) について報告する。原子力施設の事故時に大気中に放出された放射性物質の濃度やそれによる被曝線量を、放出源情報と実際の気象条件から計算予測することは、防災対策実施上極めて重要である。SPEEDIはこの目的のために開発された計算システムである。この種のシステムの開発は、原子力安全委員会の「環境放射能安全研究年次計画」に従って原研を中心におこなわれている緊急時関連の環境安全研究のひとつの項目となっている。昭和55年に調査を、開発は昭和56年に着手し、57年度に第1、第2版を、58年度に第3版を作成した。この第3版でSPEEDIはほぼ実用段階に達したと考えられるので、その成果を簡単にまとめて報告する。

+ 安全解析部
++ 計算センター
* 原子力データセンター

SPEEDI: System for Prediction of Environmental
Emergency Dose Information

Masamichi CHINO, Hirohiko ISHIKAWA, Michiaki KAI, Toshimitsu HONMA⁺
Akihide HIDAKA⁺, Kazuhiko IMAI, Toshinori IIJIMA⁺, Shigeru MORIUCHI
Kiyoshi ASAI⁺⁺, Yasuhiro NAKAMURA⁺⁺, Motoi OKUDA^{*} and Kunihiro HORIKAMI^{*}

Department of Environmental Safety Research,
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received February 1, 1984)

In this report a computer code system for prediction of environmental emergency dose information, i.e., SPEEDI for short, is presented.

In case of an accidental release of radioactive materials from a nuclear plant, it is very important for an emergency planning to predict the concentration and dose caused by the materials. The SPEEDI code system has been developed for this purpose and it has features to predict by calculation the released nuclides, wind fields, concentrations and dose based on release information, actual weather and topographical data.

Keywords : Computer, Code, Nuclear Plant, Emergency, Accident, Prediction,
Release, Concentration, Dose, Wind field, SPEEDI, ARAC,
Environmental

+ Department of Nuclear Safety Evaluation, Tokai, JAERI

++ Computing Center, Tokai, JAERI

* Nuclear Energy Data Center

目 次

| | |
|---|----|
| 1. はじめに | 1 |
| 1.1 システム開発の目的と歴史 | 1 |
| 1.2 SPEEDI の概要 | 2 |
| 2. システムの使用法 | 5 |
| 2.1 計算の流れ | 5 |
| 2.2 システム使用例と計算結果 | 7 |
| 3. 計算コードとその使用法 | 15 |
| 3.1 簡易計算コード | 15 |
| 3.1.1 バフ型簡易計算コードLSPUFF | 15 |
| 3.1.2 ガウス・プルーム型線量計算コードGSDOSE | 19 |
| 3.2 詳細計算コード | 27 |
| 3.2.1 3次元風速場計算コードWIND04 | 27 |
| 3.2.2 詳細濃度計算コードPRWDA | 30 |
| 3.2.3 線量セル計算コードCIDE | 42 |
| 3.3 放出源情報推定コード | 46 |
| 3.3.1 概 要 | 46 |
| 3.3.2 核種放出率の推定 | 47 |
| 3.4 その他のモデル | 48 |
| 4. 運用経験 | 49 |
| 5. 今後の改良 | 53 |
| 5.1 計算モデルの改良 | 53 |
| 5.2 オンライン気象データ自動収集 | 54 |
| 5.3 ミニコンへの適用 | 55 |
| 5.4 メニュー方式入力の採用 | 57 |
| 6. おわりに | 58 |
| 謝 辞 | 60 |
| 参考文献 | 61 |
| 付 録 A. SPEEDIコード・システムの設計概念とソフトウェアの構成要素... | 63 |
| B. システム使用時の端末との会話例 | 74 |

Contents

| | |
|--|--------|
| 1. Introduction | 1 |
| 1.1 Purpose of development and short history of the field | 1 |
| 1.2 An outline of SPEEDI code system | 2 |
| 2. On usage of SPEEDI | 5 |
| 2.1 Computational flow of SPEEDI | 5 |
| 2.2 Usage examples and results of calculation | 7 |
| 3. Outlines of codes and their usage | 15 |
| 3.1 Simple and quick calculation codes | 15 |
| 3.1.1 LSPUFF: Simple codes for concentrations | 15 |
| 3.1.2 GSDOSE: Gaussian plume type code for dose evaluation | 19 |
| 3.2 Detail calculation codes | 27 |
| 3.2.1 WIND04: Three dimensional wind field code | 27 |
| 3.2.2 PRWDA: Detail calculation code for concentration | 30 |
| 3.2.3 CIDE: Dose evaluation code by grid cell integration | 42 |
| 3.3 Code for estimation of release information | 46 |
| 3.3.1 An outline of method for release estimation | 46 |
| 3.3.2 Estimation of released nuclides | 47 |
| 3.4 Other codes | 48 |
| 4. Operational experiences | 49 |
| 5. Further developments | 53 |
| 5.1 Revisions of codes | 53 |
| 5.2 Online acquisition of observed weather data | 54 |
| 5.3 Transportability of SPEEDI to minicomputer | 55 |
| 5.4 Data input and system control by menus | 57 |
| 6. Concluding remarks | 58 |
| Acknowledgements | 60 |
| References | 61 |
| Appendix | |
| A. Design concept and software components in SPEEDI | 63 |
| B. Examples of conversational input/output by a terminal | 74 |

1 はじめに

緊急時環境線量情報予測システム SPEEDI (System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information) の開発は、原子力安全委員会の「環境放射能安全研究年次計画」⁽¹⁾ に従って原研を中心に行われている緊急時関連の環境安全研究⁽²⁾ のうちの一つの大きな項目となっている。研究の計画と進捗状況は原研の環境放射能研究委員会及びその下部の緊急時モニタリング・予測専門部会で検討されてきた。

現在開発は6年計画の第4年度を終ろうとしており、研究開発段階の第1版、第2版を経て、実用システムを目指した第3次改訂版が完成するのを機会に、詳細な報告とは別に、その概要をまとめて紹介する。

1.1 システム開発の目的と歴史

原子炉事故時に大気中に放出された放射性物質の濃度やそれによる被曝線量を、放出源情報と実際の気象条件から計算予測することは、防災対策実施上極めて重要である。大気拡散に関し原子炉の安全審査のための計算では、放出点が大気中に孤立した排気筒先端という条件から点状源放出の濃度表現型モデルが典型的に適用できた。慣例的に直線流跡線-ガウス・プルーム・モデルが使われ、地形の影響を有効放出高の考えを通じて考慮するなど定式化が進んでいる。また事前評価であるから過去の観測から求めた平均的あるいは典型的な気象条件が使われる。

しかし実際の事故時には実測モニタリングとの組合せなどを考えて現実的評価が先ず要求され、日本のように海岸の複雑な地形に立地されている原子炉に対しては濃度表現型の単純な計算モデルではその要求を満たし難い。そこで地形的境界条件や風の時間的变化などに対して柔軟性のある拡散計算型モデルが使われることになる。

拡散計算型モデルには輸送・拡散方程式を数値的に解く差分法や有限要素法などがあるが、SPEEDI の中では後述するように風に関しては変分法モデル、拡散にはセル内粒子モデルが主体となっている。また計算の迅速性と兼合いで濃度表現型のモデルにも大よその見当をつける意味では実用性がある。これらを含めさらに風の予測計算や被曝線量計算など幾つかの計算コードを一つのシステムに組み上げ、入力方法や出力表示も緊急時の迅速性と理解しやすさなども考慮して作成されたものがSPEEDI である。

開発の手本としたのは米国ローレンス・リバモア国立研究所 (LLNL) のARAC システムである。比較の意味でこれについてここで述べる。

ARAC (Atmospheric Release Advisory Capability) システム⁽³⁾ は名前の示すように、大気中への放射性物質の事故的放出の結果を電子計算機と気象データを使って迅速に評価する米国エネルギー省 (DOE) の能力を改善するために1972年に開発が始まり1975年には一応完成している。その後実際問題への適用を重ねながら改良され、TMI-2

原子炉事故後は運用形態も強化され最近では⁴⁾次のようにサービス範囲が拡大されている。すなわちDOEの4サイト、連邦航空局(FAA)、DOEの緊急時対応の諸オペレーション、原子力規制委員会(NRC)の事故対応センター(IRC)、インディアンポイント及びランチョセコ両原子力発電所、ニューヨーク州及びカリフォルニア州の緊急時サービス事務所、国防省の8サイトの、合計約20カ所で利用できる。また能力的にもLLNLのARACセンターでは緊急時には数分以内で大型計算機CDC7600を専用できることになり、気象データを提供する空軍全地球気象センター(AFGWC)でも緊急時にはARACに高い優先度を与えるなど迅速性が改善されている。

過去の適用例をみると原子炉事故や火災事故、輸送事故などの原子力関係だけでなく、人工衛星落下事故や有毒物質放出事故など他分野までカバーしている。また最近では緊急時の各種演習に参加するほか、退避対策モデルと連動させて原子力発電所周辺地域への適用計算を行う⁵⁾など研究面でも防災対策の強化に貢献している。

ARACの中の計算コードの主体はMATHEW-ADPICという組合せである。MATHEW⁶⁾は少数の観測データから対象地域の3次元的風速場を求めるコードで、歴史的には流体の運動方程式を変分法で解く佐々木の方法⁷⁾に基づいている。大気中濃度を求めるADPIC⁸⁾は拡散される物質を多数個の粒子で置き換えてその運動を追い、立体格子で分割した空間のセルの中の粒子数で拡散される物質の濃度を表わすセル内粒子モデルによっている。特に輸送・拡散方程式を解くさい拡散速度という概念を導入して拡散項を移流の形に表わし風による移流項と合わせて方程式を輸送方程式にした点に独自性がある。

被曝線量計算部分は今まで組み込まれていなかったが、最近イタリアのENEAとの共同研究の中で開発中である。⁹⁾

1.2 SPEEDIの概要

本システムは、原子炉事故時等の緊急時に大気中放出物に起因する一般環境での被曝線量を予測することを目的としている。緊急時の線量予測には、計算の迅速性と正確さの2点が強く要求される。これは主には使用されるデータの精度と計算モデルに依存する問題であるが、日本の原子力サイトのように地形が複雑な場所が多い場合、モデルが複雑になり単一コードによるこの2面の両立は難しい。そのため緊急時には、計算が迅速な簡易計算コードと、正確な予測のための詳細計算コード群を使い分け、要請に応じた迅速な対応をとる必要がある。このような、いくつかの計算コードの使い分けを容易に行なうため、ここでは、統一的な入出力管理機能と、各種の図形表示機能及び環境データ・ベースを保有したモジュラ・コード・システムを作成し、その中で計算コードを扱っている。緊急時のシステムとして留意した項目は、

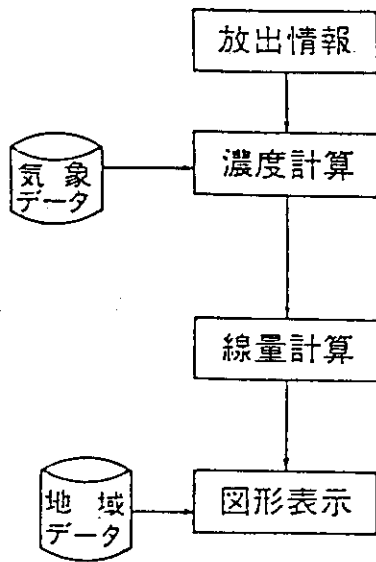
- (1) 実時間処理が可能であること、
- (2) データ・ファイル形式が統一されていること、
- (3) 豊富な図形出力機能を有すること、
- (4) 環境データ・ベースが整備されていること、

- (5) 計算コードの付与，交換が容易であること，
 - (6) 簡易計算コードと地形を考慮した詳細計算コードが含まれていること，
- 等である。

Fig. 1.2.1 は，システムの線量評価までの流れ図で，(a)が簡易計算部分，(b)が詳細計算部分である。図中の地域情報ファイルは，サイト周辺の標高，土地利用，道路，鉄道，海岸線等のデータが狭域（周辺25km），広域（周辺100km）に分けて保存されている。このファイルは現在，全国14サイトについて整備されている。また図中のモデルの一部は現在SPEEDI第3版に組み込まれていないものもあるが，58年度中には組み込みを終了する予定である。

以下に各章の執筆担当者とその分担をあげておく。

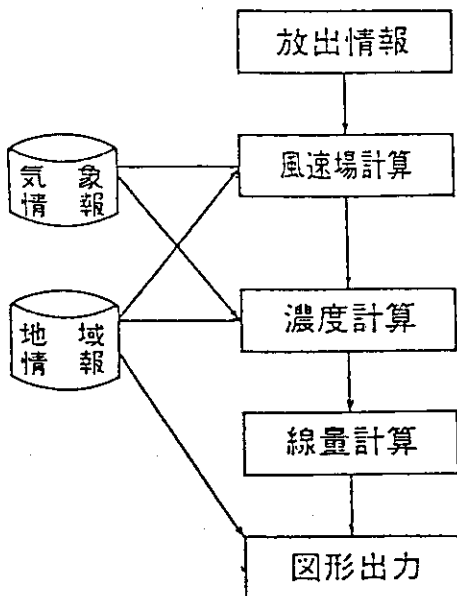
| | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|--|--|
| 今井和彦 | 1.1 | | | | | | | |
| 茅野政道 | 1.2 | 2.2 | 3.2.2 | 4. | | | | |
| 甲斐倫明 | 2.1 | 2.2 | 3.2.3 | 3.3 | 4. | 付録A | | |
| 石川裕彦 | 2.2 | 3.2.1 | 3.4 | 4. | 5.1 | 5.2 | | |
| 本間俊充 | 3.1.1 | 3.4 | | | | | | |
| 飯島敏哲 | 3.1.2 | 6. | | | | | | |
| 日高昭秀 | 3.1.2 | | | | | | | |
| 中村康弘 | 5.3 | | | | | | | |
| 浅井清 | 5.4 | 付録A | | | | | | |
| 森内茂 | 6. | | | | | | | |
| 堀上邦彦 | 付録A | | | | | | | |
| 奥田基 | 付録A | | | | | | | |



| | モデル | 特徴 |
|------|-------------|---------------------|
| 濃度計算 | ガウス・ブルームモデル | ○直線流跡線にのるガウス分布 |
| | パフモデル | ○変動する流跡線にのるガウス分布 |
| 線量計算 | ガウス・ブルームモデル | ○ガウス・ブルーム型を仮定した線量計算 |

(a) 迅速簡易計算

(a) Simple and quick calculation.



| | モデル | 特徴 |
|------|----------------------|---|
| 風速計算 | 客観解析モデル (統計予測モデル) | ○観測データをもとに質量保存風速場の作成 ○過去の気象データをもとにした数時間先の予測を行う |
| | 粒子拡散モデル | ○仮想粒子群の移流・拡散による三次元濃度分布計算 |
| 線量計算 | 線量セルモデル | ○任意の三次元濃度セルからの線量計算 |

(b) 詳細計算

(b) Detailed calculation.

図 1.2.1 SPEEDI の計算の概要

Fig. 1.2.1 Schematic diagram of SPEEDI.

2 システムの使用例

2.1 システムの使用法

Fig. 2.1.1に、SPEEDIコード・システムの計算の流れ図を示す。流れの中のそれぞれの手順は、ユーザーがそれに対応するコマンドによって会話形式で計算機とやりとりしながら進められる。コマンド名やその具体的使用例は2.2節で述べる。

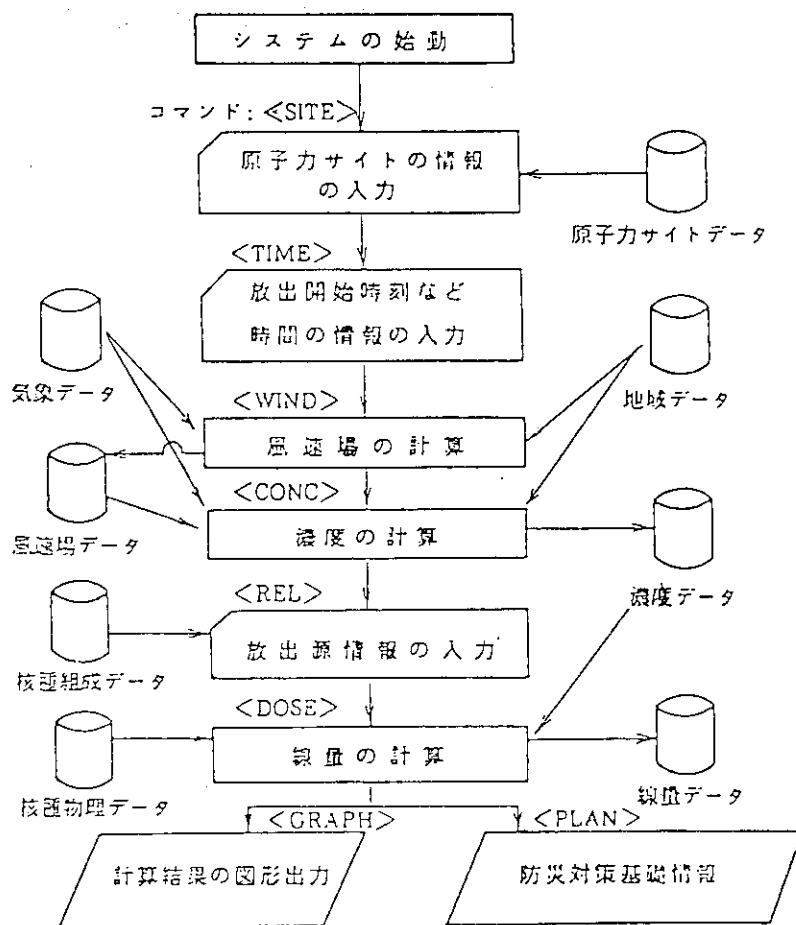


図 2.1.1 コードシステムSPEEDI の計算の流れ図

Fig. 2.1.1 Calculational flow of SPEEDI.

SPEEDIシステムを起動後、最初に原子カサイトに関する情報を入力する。システムが原子カサイト・データとして保有している原子カサイトの緯度・経度やスタックの高さなどの情報をこれによって計算に利用できるようになる。次に、原子炉停止時刻や放出開始時刻などの時間に関する情報を入力する。ここで初めて風速場計算、さらに濃度計算を行う。風速場計算と濃度計算に必要な標高などを含んだ地域データは、原子カサイトに関する情報を入力したと

きにすでにシステムが自動的に設定して利用できるようになっている。次に、線量の計算を行うために必要な放射性核種の放出率を入力する。このとき、希ガスとヨウ素については詳細な核種組成のデータが入手されない事故が起こった初期の段階でも計算が行えるように、システムは核種組成のデータを炉型と燃焼度の関数で保有している。ここで線量の計算が実行できる状態になる。線量計算に必要な核種の放出する光子の平均エネルギー、実効エネルギー、個々の光子のエネルギーとその放出割合および崩壊定数は、核種物理データとして利用できるようになっている。

計算結果の図形出力は、風速場計算、濃度計算、線量計算のそれぞれが実行し終わった時点で簡単に計算機図形出力端末に表示できる。

以上の計算の流れに沿った使用例および計算結果を次の2.2節で述べる。

2.2 システム使用例と計算結果

このシステムの使用法を、次のように事故を仮定して示す。

事故の仮定として、1981年8月20日15時に原研東海の原子炉(JPDR)で、シャットダウンと同時に放出がはじまり、核種は放出開始時に ^{138}Xe が1000 Ci/h, ^{131}I が1.0 Ci/h 測定されたものとする。

始めに、事故サイト入力用コマンドSITEと入力データ(以下オペランド)のサイト名、施設名、放出高、燃焼度を入力する。これにより、事故施設の緯度、経度、炉型、地域データが自動設定される。入力形式は、

| | |
|----------|---|
| SITE [Q] | $\left\{ \begin{array}{l} \text{サイト名, 施設名, } \left\{ \begin{array}{l} * \\ \text{放出高} \end{array} \right\} \\ \text{緯度, 経度, 標高, 放出高} \end{array} \right\}$, [燃焼度] |
|----------|---|

となる。{ }は選択する事を示し、[]は省略可能であることを意味する。この場合の入力方法は、

| |
|---------------------------------|
| SITE TOKAI, JPDR, 100.0, 4000.0 |
|---------------------------------|

となる。次にTIMEコマンドを用いて、放出開始日時、シャットダウン日時、予測開始日時を入力する。入力形式及び入力例は、

| | |
|----------|---|
| TIME [Q] | 放出開始年月日 , 放出開始時分秒 , 原子炉停止年月日 , 原子炉停止時分秒 , 予測開始年月日 , 予測開始時分秒 , 予測時間 , ダンプ間隔 |
|----------|---|

入力例は、

| | | | | | |
|------|---------|---------|---------|---------|---|
| TIME | 810820, | 150000, | 810820, | 150000, | + |
| | 810820, | 150000, | 20000, | 10000 | |

となる。ここまでの、事故情報のデータ設定を終え、計算に入る。

計算には詳細モデルを使う事とし、風速場計算から始める。風速場計算モード設定コマンド WIND はオペランドとして計算コード名、計算領域、大気安定度があり、これらを入力後、実行命令コマンド SUB を入力することで実行される。この時、システムで設定された最新データが表示され、使用者は設定値のチェックを行うことができる。WIND コマンドの形式と使用例は以下のとおりである。

| | |
|------|---|
| WIND | モデル名 [LOCAL] [REGIONAL] [, 予測開始年月日 , 予測開始時分秒] [, 予測時間] [, ダンプ間隔]]] [, WEF = 気象データプール名] [, WIF = 風速場データプール名] [, STAB = { A } { B } { C } { D } { E } { F } { G }]]] |
|------|---|

WIND WIND04, LOCAL, STAB=D

このコマンドを用いて設定された条件のもとで、風速場の計算を実行した結果は右ページのようになる。Fig. 2.2.1 は計算に用いた気象観測データ、Fig. 2.2.2 は計算された海拔 100m の 15 時における風速場である。なお、図形出力は GRAPH 関連コマンドを用いて行われるが、これについては後述する。

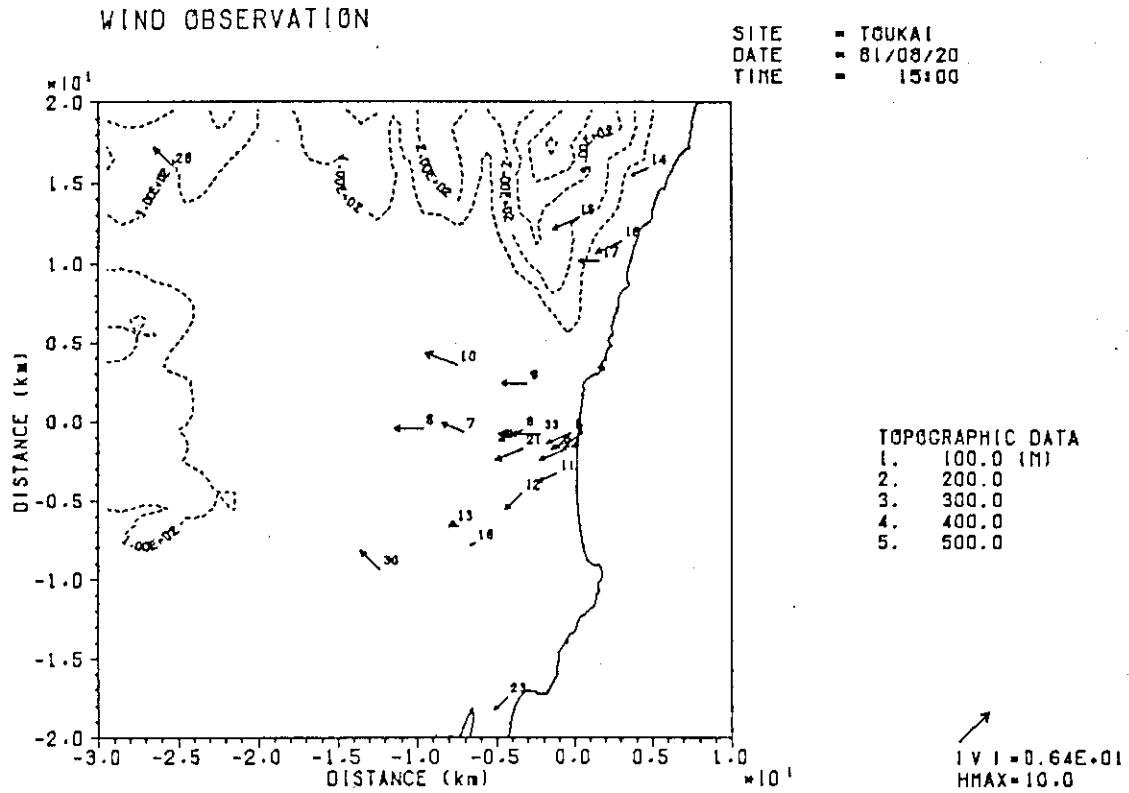


図 2.2.1 気象観測データの図形表示 (地図上出力)

Fig. 2.2.1 Graphic output of observed wind data.

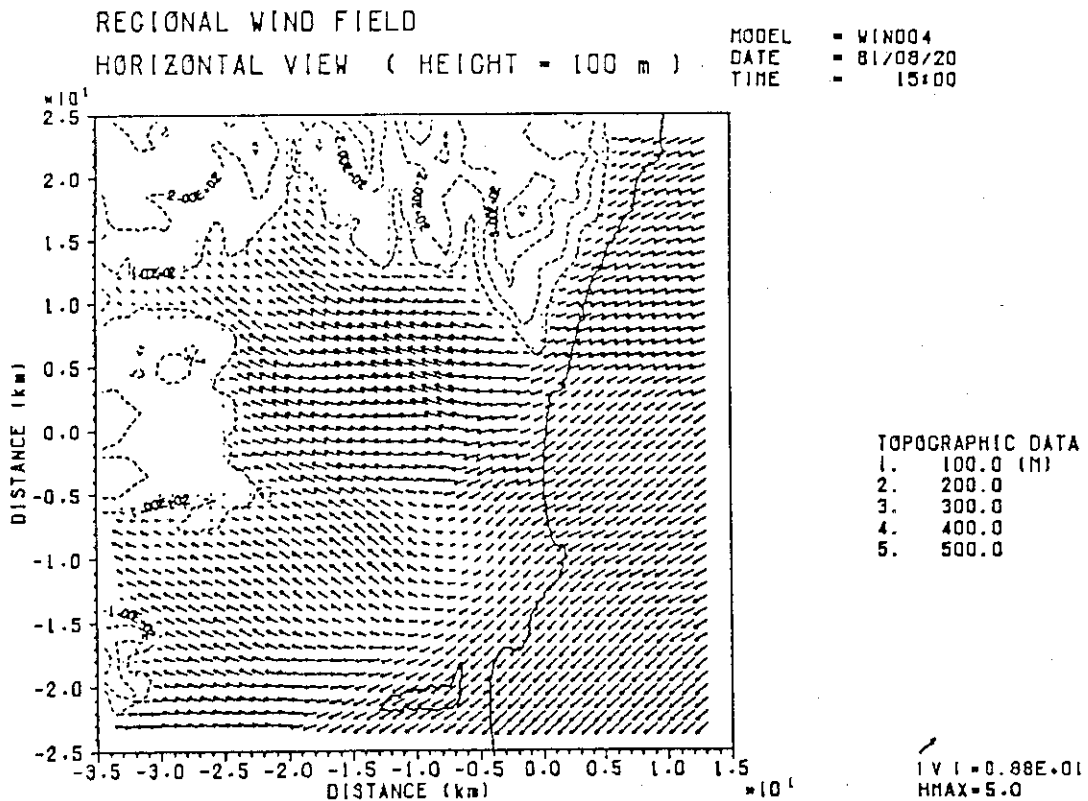


図 2.2.2 計算された風速場の図形表示

Fig. 2.2.2 Graphic output of calculated wind field.

次に濃度計算モード用コマンド (CONC) で濃度計算モードに入る。入力形式は、

| | |
|----------|--|
| CONC [Q] | モデル名 { LOCAL REGIONAL } [, 予測開始年月日 , 予測開始時分秒 [, 予測時間 [, ダンプ間隔]]] [, RELT = 放出継続時間] [, N 1 = 放出核種 (群) 1] [, N 2 = 放出核種 (群) 2] [, N 3 = 放出核種 3] [, R 1 = 核種 1 放出量] [, R 2 = 核種 2 放出量] [, R 3 = 核種 3 放出量] [, WIF = 風速場データプール名] [, INCF = 空間濃度データプール名] [, SF CF = 沈着濃度データプール名] |
|----------|--|

入力例は

```
CONC PRWDA, LOCAL
```

である。この例では、入力データに計算コード名と計算領域を指定しており、この時濃度計算は放射性崩壊を考慮しない単位放出を仮定した計算が行われる。また計算領域のあとに核種名、放出率を指定して計算する事もできる。これで放出開始から2時間後までの1時間ごとの平均3次元濃度分布と地表面沈着量の計算を終える。濃度計算結果の出力例を右ページ Fig. 2.2.3, Fig. 2.2.4 に示す。Fig. 2.2.3 は単位放出を仮定した時の希ガスの16時から17時の間の平均地上濃度分布、Fig. 2.2.4 は、 ^{131}I の地表面沈着量を示している。

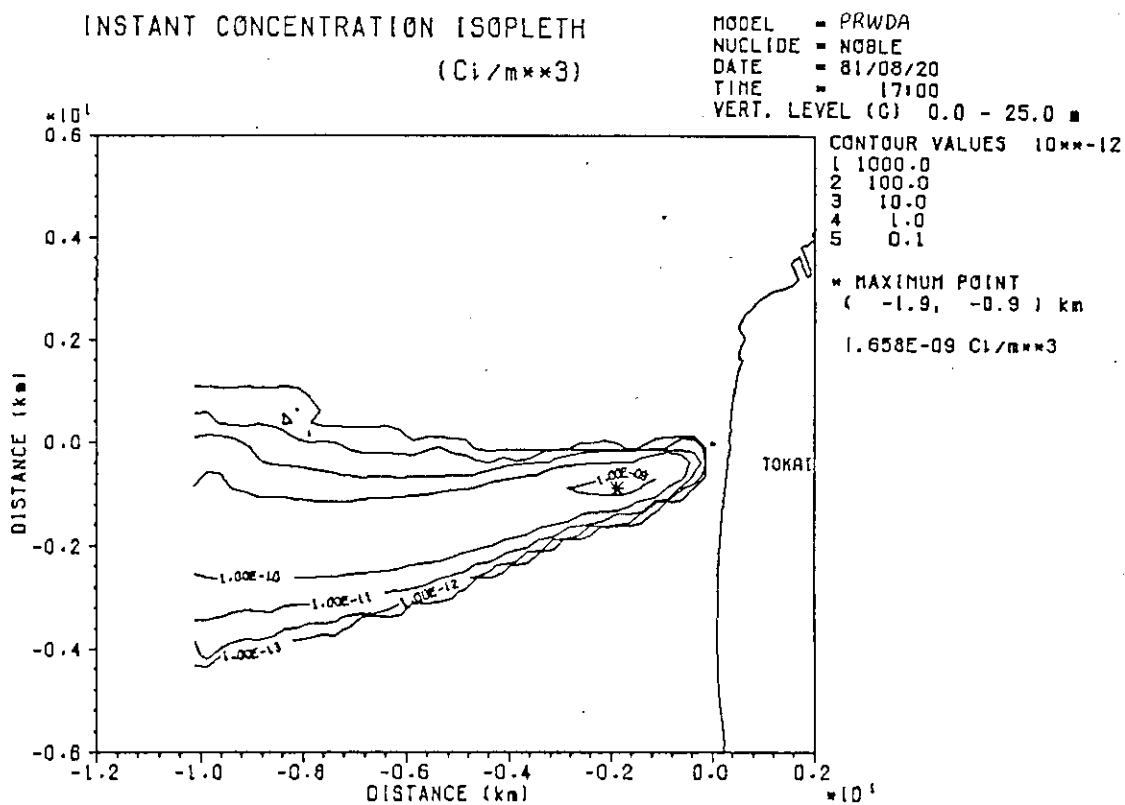


図 2.2.3 地上濃度分布の図形表示

Fig. 2.2.3 Graphic output of concentration distribution at the ground level.

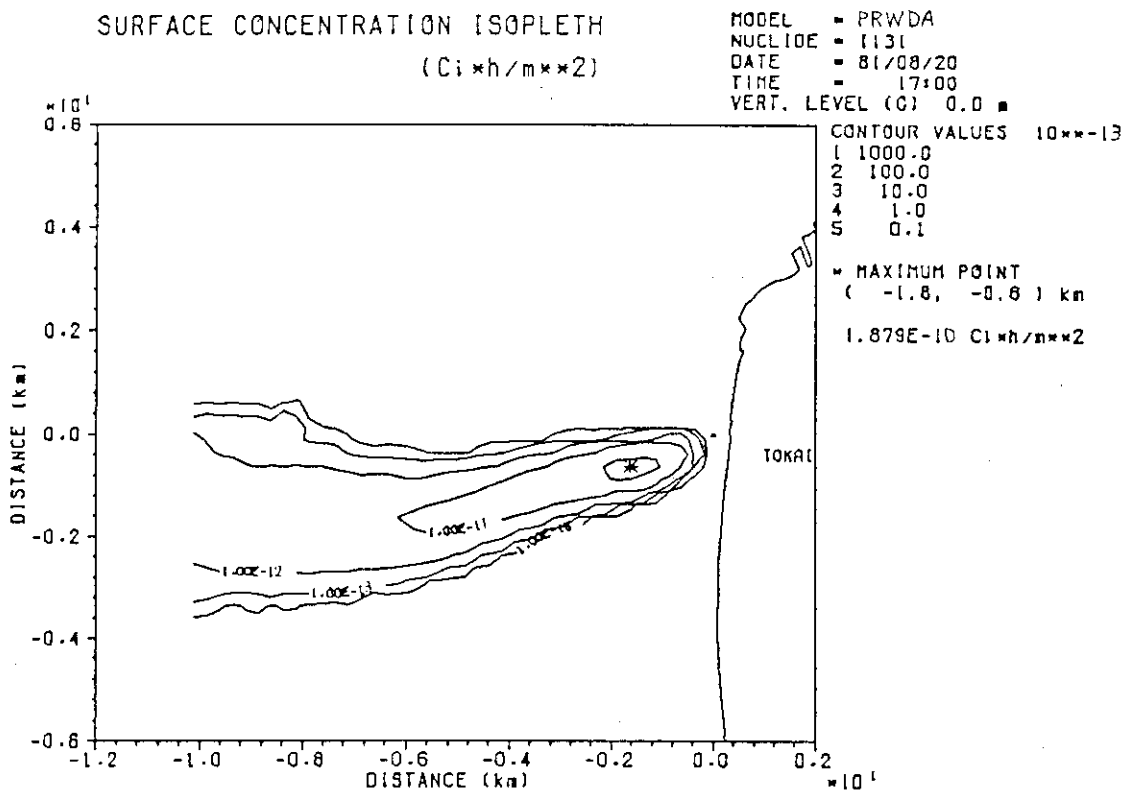


図 2.2.4 ¹³¹I 沈着量分布の図形表示

Fig. 2.2.4 Graphic output of depositing ¹³¹I distribution.

次に放出開始から2時間分の線量計算を行うが、放出核種についてREL コマンドにより、放出率測定時刻、放出核種、放出量の順に入力を行う。入力形式は、

| | |
|---------|---|
| REL [Q] | 放出率決定年月日 ， 放出率決定時分秒 ， 情報モード [, 核種名 1 ， 放出率 1] [, 核種名 2 ， 放出率 2] [, 核種名 3 ， 放出率 3] |
|---------|---|

である。この入力例では情報モード（情報モードについては3.3.1参照）を3としたときに、希ガスおよびヨウ素の各々の核種の放出率を入力するようにシステムが促進してくる。この例については付録の使用例を参照されたい。

線量計算モード用コマンドDOSEでは、オペランドとして計算コード名、計算領域、使用する濃度ファイルを出力した濃度計算コード名、予測時刻等を入力する。

入力形式は、

| | |
|----------|---|
| DOSE [Q] | モデル名 { LOCAL REGIONAL } ， CONCモデル名 [, 予測開始年月日 ， 予測開始時分秒 [, 予測時間 [, ダンプ間隔]]] [, INCF = 空間濃度データプール名] [, GMF = 照射線量率データプール名] [, CUMF = 外部被曝線量データプール名] [, THYF = 甲状腺被曝線量データプール名] [, INHF = 内部被曝線量データプール名] |
|----------|---|

入力方法は、

| |
|-------------------------|
| DOSE CIDE, LOCAL, PRWDA |
|-------------------------|

線量計算を実行した結果の出力例を右ページのFig. 2.2.5、及びFig. 2.2.6に示す。Fig. 2.2.5 は、17時の外部被曝線量分布。Fig. 2.2.6は同時刻の甲状腺被曝線量分布である。

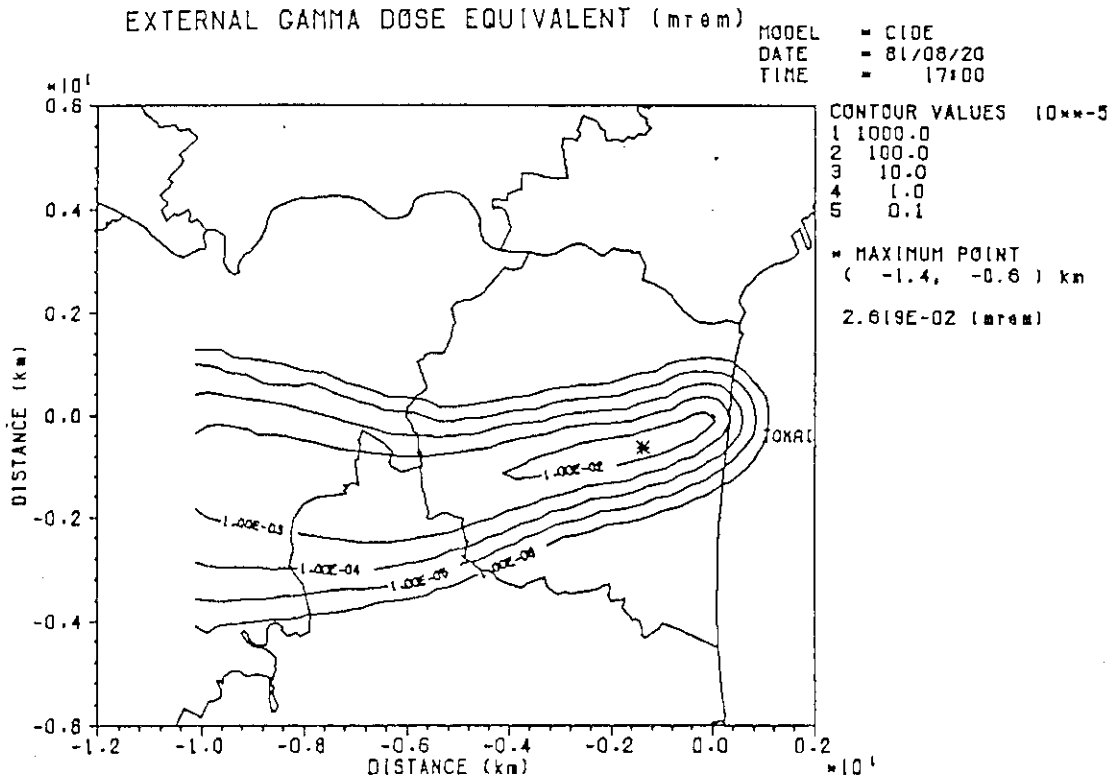


図 2.2.5 外部被曝線量分布の図形表示

Fig. 2.2.5 Graphic output of external gamma dose equivalent distribution.

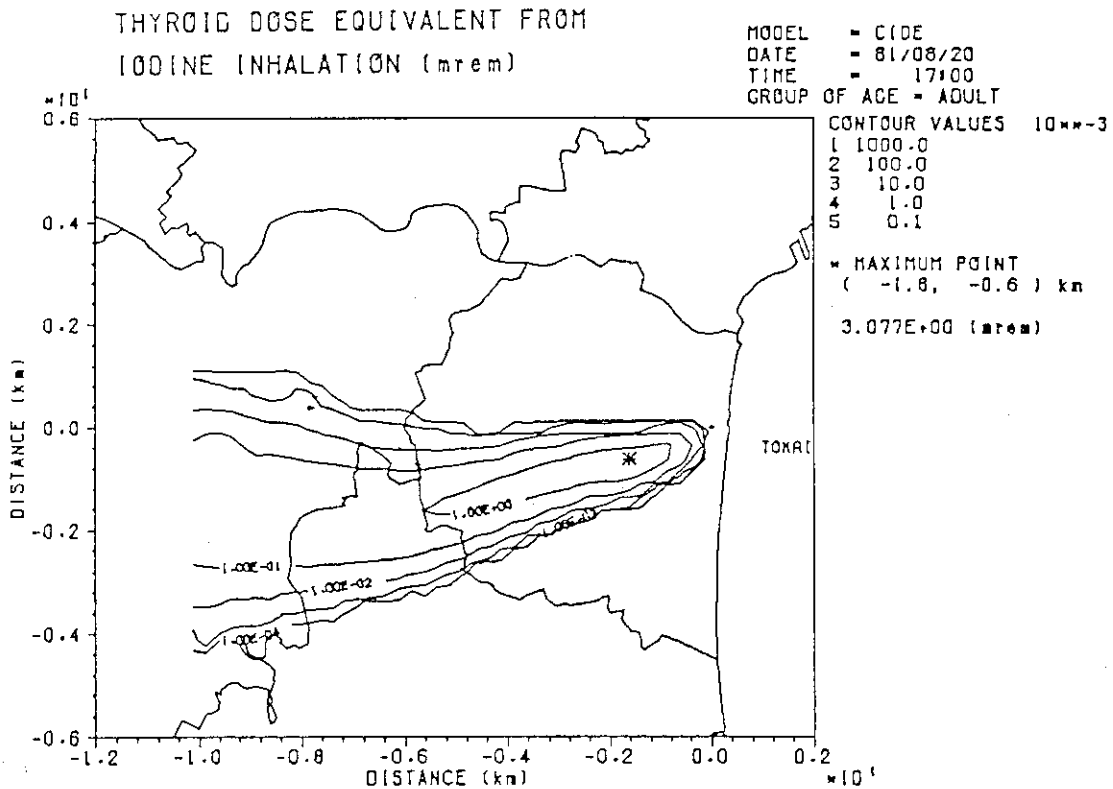


図 2.2.6 甲状腺被曝線量分布の図形表示

Fig. 2.2.6 Graphic output of thyroid dose equivalent distribution.

計算結果の出力は、GRAPH 関連コマンドを用いて行われる。GRAPH 関連コマンドは、計算モード設定コマンドの前にGを付した形（GWIND, GCONC, GDOSE 等）をしている。線量計算結果の出力を例にすると、入力形式は、

| | |
|-----------|--------------------------|
| GDOSE [Q] | 図形名 ，モデル名 [，パラメータ] |
|-----------|--------------------------|

である。GRAPH 関連コマンドを用いると、以上で示した例の他、任意地点での濃度、線量の時間変化の出力ができる。SPEEDIで出力できる図形出力一覧を、Table 2.2.1 にまとめている。図の下絵としては、海岸線、行政区界、道路、鉄道、等高線、地点名、緯経線を指定できる。

計算機の端末による実際の使用例を巻末の付録B に示してあるので参考にされたい。

表 2.2.1 SPEEDIの計算出力と図形表示項目
Table 2.2.1 Items of print and graphic output of SPEEDI.

| | 計 算 出 力 | 図 形 出 力 |
|----------|---|--|
| (1)気象データ | ————— | 地上観測風ベクトル表示 |
| (2)風 速 場 | 各格子点での風ベクトル(m/sec) | 風速場ベクトル表示(水平・鉛直断面) |
| (3)濃 度 | 1時間平均空間濃度 (Ci/m ³) 地表面沈着量 (Ci/m ²) | 核種毎の水平分布 } 等値線表示 地表面沈着量 } 任意地点での濃度時間変化表示 |
| (4)線 量 | 照射線量率 (μR/h) 全身線量 (m rem) 内部被曝線量 (m rem) | 照射線量率 } 等値線表示 全身線量 } 内部被曝線量 } 任意地点での線量時間変化図 |

3. 計算コードとその使用法

SPEEDI は、1.2で述べたように迅速に結果を得るための簡易計算と、精度の高い予測のための詳細計算の流れを考慮している。この流れをシステムに含まれる計算コードについて示すとFig. 3.1 のようになる。簡易計算は、いわゆるガウス・ブルーム・モデルを用いた最も単純な計算コードと、2次元の風速場から流跡線を求め、パフの連続放出により非定常な拡散を扱う計算コード群から成っている。

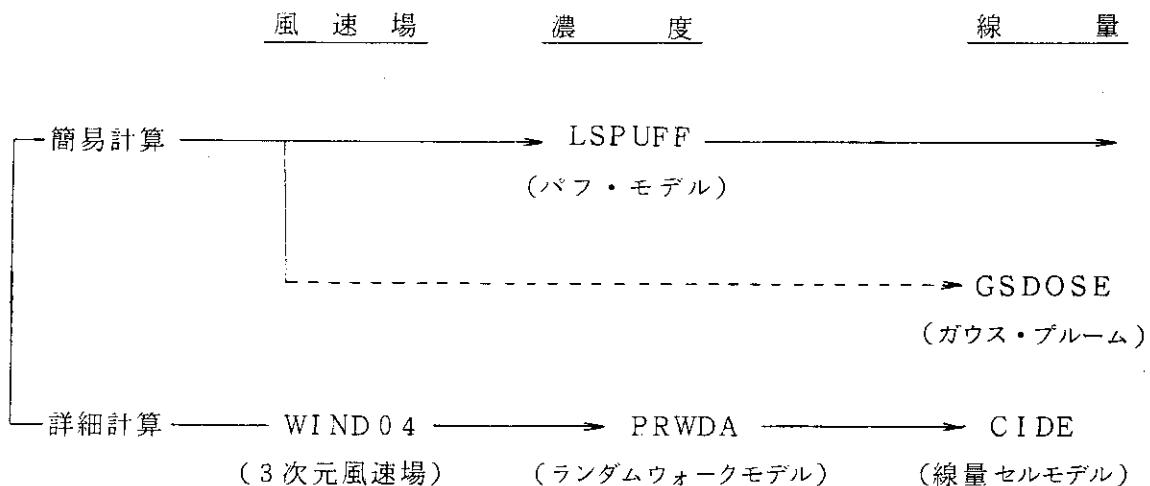


図 3.1 SPEEDI システムの計算モデル

Fig. 3.1 Computer codes in SPEEDI system

また詳細計算は、地形を考慮した3次元風速場を計算するコード、粒子群を用いて移流・拡散方程式を解き濃度分布を計算するコード、3次元的な濃度分布を考慮して線量評価を行うコードを結合して構成されている。

以下に各計算コードの詳細を示す。

3.1 簡易計算コード

3.1.1 パフ型簡易計算コード LSPUFF

(1) 概要

サイト周辺10km~20kmの狭域では、各種の対策の判断あるいは、モニタリングへの助言のために迅速な計算が要求される。そこで、システムではサイト周辺の複雑な地形を考慮した3次元的な風速場に基づく詳細な拡散計算を起動する前に、迅速に放出放射能の挙動を予測する簡易計算用モデルが用意されている。LSPUFFでは刻々と変化する風の場に対応できるように、サイト及びオンラインで結ばれた周辺観測所から10分~15分毎に送信される気象データを利用することを想定して、濃度計算にいわゆるパフ・モデルを採用している。パフ・

モデルは連続的なプルーム放出をいくつかの離散的に放出されたパフの重ね合せで評価する。したがって、できるだけ多くの数のパフを発生させて個々のパフ間の間隔を小さくした方が計算精度が上がる。計算時間及び計算機の記憶容量を考慮し、LSPUFF では濃度データプールに出力する計算格子点の間隔との対応を考え、パフの発生間隔及び濃度計算の時間間隔（パフの移流時間間隔）を入力で指定できるようになっている。

パフの移流計算に用いる風速場は、各観測点からの情報を入力として、地域データプールで指定された格子点あるいは、入力で指定する格子点における値を内挿してLSPUFF 内で作成される。内挿法としては、Wendell¹⁰⁾の方法を採用している。これは格子点 (i, j) の風ベクトル $V_{i, j}$ を各観測値 U_n から次式によって定めるものである。

$$V_{i, j} = \frac{\sum_n^N W_n U_n}{\sum_n^N W_n} \quad (3.1.1)$$

W_n は各観測値に対する荷重で、格子点と観測点の間の距離の逆数や、距離の2乗の逆数などが一般に用いられるが、風のデータは局所性が強いのでLSPUFF では距離の2乗の逆数を用いている。 N は1つの風速場格子点の値を内挿する際に用いる観測点の数である。これは最低でも2点は必要であり、最高は観測値がもつ地域的な代表性によって決まる。LSPUFF では格子点に影響を及ぼす最大距離 R を入力し、その中に入る観測点の数が N となる。 R としては、対象としている風速場の一辺の距離 L や、その風速場内に入る観測点の数を M として L/M などが目安として用いられる。この内挿法は変分法による風速場解析などの初期値設定としても用いられているが、この方法自体にはいかなる物理法則も考慮されていない。したがって、かなり複雑な地形をもつ地域で観測点が少ない場合、この方法の適用は難しいが、比較的地形の変化が緩やかで十分な観測網が設定できる所では迅速計算という意味で十分対応可能と考えられる。

大気乱流によるパフの拡がりの計算に用いる拡散パラメータには、従来のプルームモデルで用いられる $\sigma_y(x)$ 、 $\sigma_z(x)$ を代用する他、SmithとHay¹¹⁾による相対拡散の理論に基づく方法も用意している。Fig. 3.1.1にLSPUFFによる地表面空気中の瞬時濃度の出力例を示す。

簡易計算では迅速性を重要視するので、できるだけデータの入出力の手間を省く意味からLSPUFF 内で線量計算まで一貫して行う。特に放射性雲からの γ 線線量率の計算は計算時間の点で問題となる。LSPUFF では単一等方性パフを仮定して、空間積分を誤差関数で表わす方法を基礎とするパフモデルにおける外部被曝線量の計算方法を用いている。Fig. 3.1.2に単一等方性パフの中心からの距離による線量率の変化をパフの大きさ別に計算した結果を示す。個々のパフからの線量率寄与が、そのパフの大きさと計算点までの距離でこのようにして定まるので、それらを全パフについて合計して線量率が計算される。

(2) 今後の改良

現在、放射性雲からの γ 線線量率の計算には単一等方性パフを仮定しているのですが、これにパフの拡がり σ の水平成分と鉛直成分の相違を考慮して補正を行う必要がある。さらに、呼吸による内部被曝線量の計算部分を追加する予定である。また、パフの移流計算に用いる風速場の

計算は濃度及び線量の分布に重要な影響を及ぼすので、その内挿法についてはさらに検討を要する。

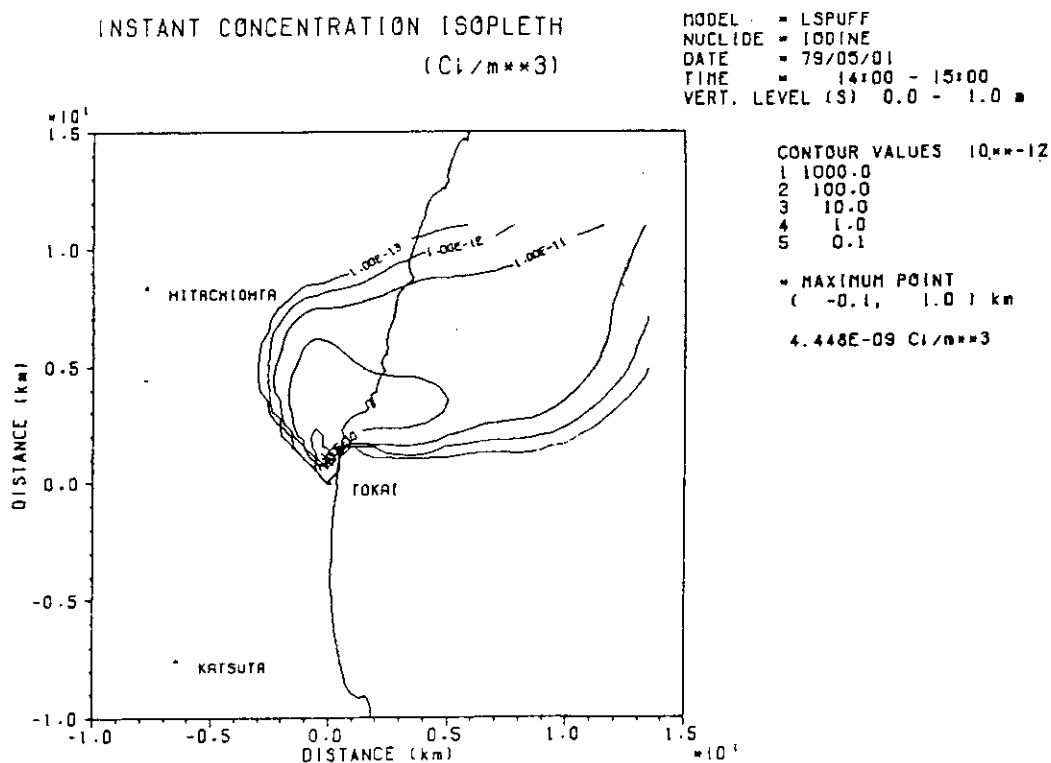


図 3. 1. 1 LSPUFF コードによる濃度分布例

Fig. 3. 1. 1 The resulting concentration isopleth by LSPUFF code.

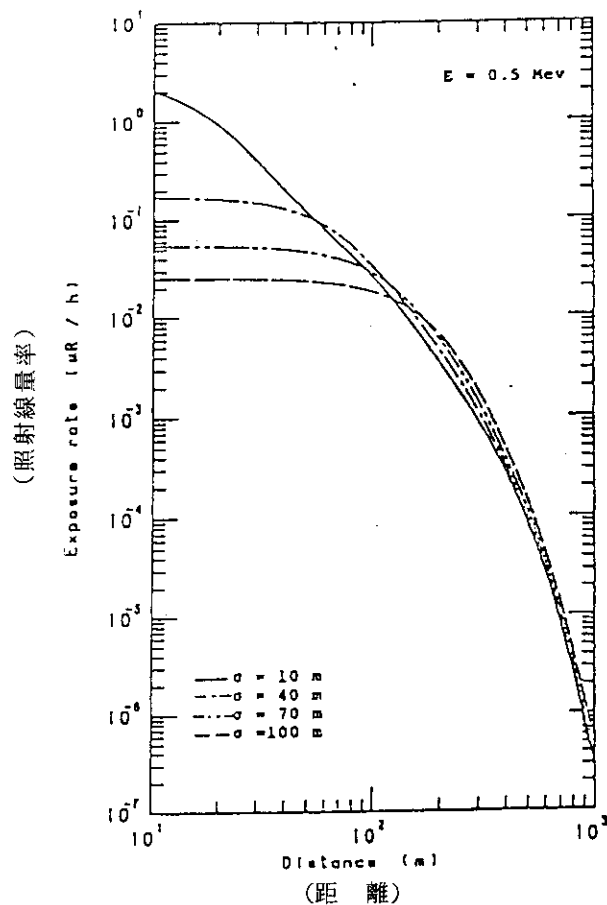


図 3. 1. 2 単一等方性パフからの線量率の計算結果

Fig. 3. 1. 2 Exposure rate from an isotropic homogeneous puff.

3.1.2 ガウス・プルーム型線量計算コード GSDOSE

緊急時には、まず事故発生直後に環境への放射線影響の概略を知るために、放射性希ガスによる全身線量あるいは放射性ヨウ素の吸入による甲状腺線量を迅速に予測することが必要と考えられる。このため、これまでに従来から一般に使われているガウス型直線プルームの場合のガンマ線外部全身線量迅速計算コードDOSEM 1及び甲状腺線量計算コードDOSEM 2を作成してきた。これらはすでに、SPEEDIの基本システムに組込まれたが、SPEEDIの実用化のために、DOSEM 1及びDOSEM 2を組合せ、しかも簡素化したGSDOSEを作成した。本コードは59年3月現在まだSPEEDI第3版に組込まれていないが、59年度早々にはSPEEDIの一部となり、その機能を完成させる。ここではGSDOSEの内容を報告する。

(1) 放射性希ガスによる全身線量計算部分

放射性希ガス等のガンマ線による外部全身線量を計算する場合、従来の数値積分による計算方法では高速計算機によっても長時間の計算が必要となる。この計算の時間短縮をはかるため原研では別に、ガウス型直線プルームの場合の外部全身線量を、あらかじめ用意した基本線量(D0ファイル)を内外挿して迅速に計算するコードAIRGAMMAを開発した¹²⁾。GSDOSEの外部線量計算部分は基本的には、AIRGAMMA及び放出開始後ある時刻における放射性希ガスの放出量、平均及び実効エネルギー計算部分から構成され、放出開始から終了時刻までの全身線量は次のように計算される。

$$D(t_s, t_E) = \sum_j \bar{q}(t_j) E^*(t_j) \frac{D_0(t_j)}{u(t_j)} \quad (3.1.2)$$

ここに、

t_s, t_E : 放射性希ガス放出開始及び終了の予想時刻 (原子炉停止時刻から計られる)

t_j : 放出期間中のある時刻 ($t_1 = t_s$)

$\bar{q}(t_j)$: $t_j \sim t_{j+1}$ における混合希ガスの平均放出率 (Ci/h)

$\bar{E}(t_j), E^*(t_j)$: $t_j \sim t_{j+1}$ における混合希ガスのガンマ線平均及び実効エネルギー (MeV)

$D_0(t_j)$: $\bar{E}(t_j)$ を用いてD0ファイルから内外挿で得られる基本線量率 (rem/h)

$u(t_j)$: t_j に対して予測される風速 (m/s)

(a) \bar{q}, E^*, \bar{E} の計算

平均放出率 (\bar{q})

SPEEDIシステムでは、情報として事故開始後ある時刻に測定されるかあるいは推定される混合希ガスの放出率が与えられることを前提として、原子炉停止時における各核種の放出率相当値 q_0 を計算する。GSDOSEは、これを用いて、ある時刻 t_j における希ガス各核種の放出率を次のように計算する。 λ_i はシステムの核種データファイルから引出して用いる。

$$\bar{q}_i(t_j) = q_{0i} e^{-\lambda_i(t_j - t_0)} \frac{\{1 - e^{-\lambda_i(t_{j+1} - t_j)}\}}{(t_{j+1} - t_j)\lambda_i} \quad (3.1.3)$$

ただし、 t_0 は原子炉停止時の時刻
さらに時刻 t_j における混合希ガスの平均放出量は次のように計算される。

$$\bar{q}(t_j) = \sum_i \bar{q}_i(t_j) \quad (3.1.3')$$

ガンマ線実効エネルギー (E^*)

混合希ガスの実効エネルギーは次のように計算する。

$$E^*(t_j) = \frac{1}{\bar{q}(t_j)} \sum_i \bar{q}_i(t_j) E_i^* \quad (3.1.4)$$

E_i^* は核種 i の実効エネルギーであり、システムの核種データファイルから引出して用いる。

ガンマ線平均エネルギー (\bar{E})

AIRGAMMA では基本線量のガンマ線エネルギーに関する内外挿には混合希ガスの平均エネルギーを用いるため、GSDOSE で混合希ガスの平均エネルギー \bar{E} を次の様に計算する。

$$\bar{E}(t_j) = \frac{E^*(t_j)}{\frac{1}{\bar{q}(t_j)} \sum_i \bar{q}_i(t_j) \sum_k^{N_{r_i}} f_{r_{ik}}} \quad (3.1.5)$$

ここで $f_{r_{ik}}$ は 1 崩壊あたりの核種 i , k 番目 r 線の放出数、 N_{r_i} は核種 i の r 線の本数で、ともに核種データファイルより引用される。

(b) D0 ファイル中の基本線量の計算方法及び各要素に対する内外挿方法

D0 ファイルに収納されている基本線量 (D0) は、ガウス型濃度分布を用いて、放出率 1 Ci/h、風速 1 m/s、実効エネルギー 1 MeV のときの外部全身線量を、種々のガンマ線平均エネルギー、放出高、大気安定度、被曝地点について計算したものである。計算方法及び D0 ファイルから必要な基本線量を求める内外挿法の詳細は文献 (12) に記述されているが、ここではその概要を述べる。

① D0 ファイルの内蔵値の計算方法

$$D_0(x_0, y_0) = K_1 K_2 \mu_0 \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_0^\infty \frac{1}{4\pi r^2} B e^{-\mu r} x(x, y, z) dz dy dx \quad (3.1.6)$$

$$x(x, y, z) = \frac{1}{2 \times 3600 \pi \sigma_y \sigma_z} \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left\{\frac{-(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{\frac{-(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right] \quad (3.1.6')$$

ここで

- x, y, z ; 放出点を原点とした時の風下方向, 風下横方向, 垂直方向 (m)
- x_0, y_0 ; 被曝点座標 (m)
- D_0 ; 放出率 1 Ci/hr, 風速 1 m/s, 実効エネルギー 1 MeV の時の線量率 (rem/h)
- K_1 ; 放射能から照射線量率への換算係数
($=1.88 \times 10^3$ photon m^3 R/MeV Ci h)
- K_2 ; 照射線量から線量当量への換算係数 ($=0.7$ rem/R)
- μ_a, μ ; 空気中の真吸収係数及び減衰係数 (m^{-1})
- r ; 被曝点とプルーム中微小体積との距離 (m)
- B ; 線量再生係数
- σ_y, σ_z ; 風下横方向, 垂直方向の拡散パラメータ (m)
- h ; 実効放出高 (m)

線量再生係数は次式を用いた。

$$B = 1 + \alpha \mu r + \beta (\mu r)^2 + \gamma (\mu r)^3 \quad (3.1.7)$$

係数 α, β, γ , および μ_a, μ に関しては Table 3.1.1 に示した^{13) 14)}。

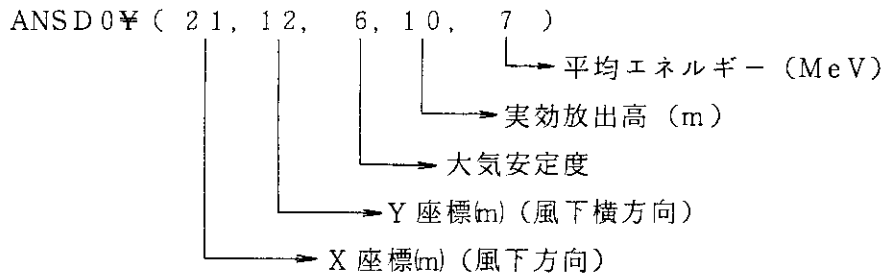
拡散パラメータ σ_y, σ_z は放出点からの距離を x (km) とする時, 次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \sigma_y &= 0.67775 \theta_0 (5 - \log x) x \\ \sigma_z &= \sigma_1 x^{a_1 + a_2 \log x + a_3 (\log x)^2} & x \geq 0.2 \text{ km} \\ \sigma_z &= \sigma_1 x^{a_1} & x < 0.2 \text{ km} \end{aligned} \quad (3.1.8)$$

ただし σ_z の最大値を 1000m とした。 $\theta_1, \sigma_1, a_1, a_2, a_3$ の値については Table 3.1.2 (a)(b)(c) に示した¹⁵⁾。

② D0 ファイルの構造

書式なし順編成ファイルで D0 データは書き込まれている。データは次の様な次元を持つ。



各パラメータの次元は Table 3.1.3 に示される各要素に対応する。

③ D0 ファイルの読み込み

D0 ファイルはサブルーチン CPREP に於いて計算に先立って共通領域/D0DT¥/の領域 ANSD0¥ に読み込んでおく。D0 データは出力しない。

④ D0 ファイルの内挿・外挿

D0 ファイルの大気安定度の次元要素は一意に決定されるが他の次元については内挿・

外挿を行う。尚、X、Y座標及び放出高さについては小数点以下四捨五入した値を用いる。

i) 平均エネルギーに関する内挿・外挿

計算する点の平均エネルギーを E_0 とすると

$$E(m) < E_0 < E(m+1) < E(m+2)$$

なる3点のD0ファイル $D_0(m)$ 、 $D_0(m+1)$ 、 $D_0(m+2)$ に対し、

$$\log D_0(E_0) = a(\log E_0)^2 + b \log E_0 + C$$

となる係数 a 、 b 、 c をGauss-Jordan法により求め、 $D_0(E_0)$ を計算する。 E_0 が範囲外の場合には、 E_0 に最も近い3点を用いて外挿を行う。また、 $E_0 = E(m)$ である場合には、 $D_0(m)$ を使用する。

ii) 放出高に関する内挿・外挿

i) と同様に H_0 、 $H(m)$ 、 $H(m+1)$ 、 $H(m+2)$ 、 $D_0(m)$ 、 $D_0(m+1)$ 、 $D_0(m+2)$ を定義し、

$$\log D_0(H_0) = a H_0^2 + b H_0 + C$$

となる係数 a 、 b 、 c をGauss-Jordan法により求め、 $D_0(H_0)$ を計算する。 H_0 が範囲外、 $H_0 = H(m)$ の場合はi)と同様である。

iii) X座標に関する内挿・外挿

計算するX座標を X_0 とした時、まず

$$X(m) < X(m+1) < X_0 < X(m+2) < X(m+3)$$

を選び、そのD0ファイル $D_0(m)$ 、 $D_0(m+1)$ 、 $D_0(m+2)$ 、 $D_0(m+3)$ が

- 始めの3つの内で $D_0(m+2)$ が最大でないなら $D_0(m)$ から
- 4つの内 $D_0(m+2)$ が最大でないなら $D_0(m)$ から
- 4つの内 $D_0(m+2)$ が最大なら $D_0(m+1)$ から

連続した3点 $X(n)$ 、 $X(n+1)$ 、 $X(n+2)$ 、 $D_0(n)$ 、 $D_0(n+1)$ 、 $D_0(n+2)$ を再度選ぶ。この3点に対し(i)と同じ内挿・外挿を行う。

iv) Y座標に関する内挿・外挿

YはTable 3.1.3に示した様にXに依存する。計算点を Y_0 とする時、X座標に対応して

$$Y(m) < Y_0 < Y(m+1) < Y(m+2)$$

が選ばれる。内外挿の手法はii)と同様である。

v) 内挿・外挿の手順

まず内挿・外挿に使用するD0ファイルの要素を次元別に決定し、次に平均エネルギー、実効放出高、Y座標(X毎)、X座標の順に多重ループさせ内挿・外挿を行う。

VI) 精度及び制約

内外挿の計算精度について文献 12) に詳しく議論されているが、内挿の場合 3 重積分との誤差は最大 5% である。しかし D 0 ファイル外の外挿の場合は、5% 以上の誤差を生じる場合もある。

⑤ 入力パラメータの指定方法

DOSE コマンドでモデル名 GSDOSE, 地域タイプ LOCAL を入力する。

(2) 放射性ヨウ素の吸入による甲状腺線量計算部分

放射性ヨウ素の地表付近大気中濃度 $x_i(t_j)$ は (3.1.6') 式に (3.1.2) 式の希ガスの部分をヨウ素に置き換えた放出率 $\bar{q}_i(t_j)$ をかけ、さらに時刻 t_j における平均風速 $U(t_j)$ で割った式を用いて計算する。この際、原子炉停止時の各放射性ヨウ素の放出率 q_{0i} および λ_i はシステムより引用する。放出開始から終了時刻までの放射性ヨウ素 i の時間積算濃度は次のように計算される。

$$x_i(t_s, t_E) = \sum_j x_i(t_j)$$

したがって甲状腺線量は

$$D_\ell(t_s, t_E) = Y_\ell B \sum_j x_i(t_s, t_E) \cdot (DF)_i \quad (3.1.10)$$

ここで、

D_ℓ : 年令 ℓ の甲状腺線量当量 (rem)

Y_ℓ : 線量の年令差を補正する係数 (成人, 幼児, 乳児に対して)

B : 成人の呼吸率 (m^3/h)

$(DF)_i$: 核種 i を 1 Ci 呼吸摂取したときの成人甲状腺の預託線量当量 (rem/Ci)

t_s, t_E : 放射性ヨウ素の放出開始及び終了の予想時刻 (原子炉停止時刻から計られる)

t_j : 放出期間中のある時刻 ($t_1 = t_s$)

$Y_\ell, B, (DF)_\ell$ はプログラム中に内蔵されている。

表 3.1.1 式 (3.1.5) の計算に用いる数値

Table 3.1.1 Values used for calculation of Eq. (3.1.5)

- E : energy of photon,
(光子エネルギー)
- μ_a : linear absorption coefficient for γ -ray for air
(空気の γ 線線吸収係数)
- μ : linear attenuation coefficient for γ -ray for air
(空気の γ 線線減衰係数)
- α, β and γ : coefficients of the buildup factor equation
(ビルドアップ係数を与える式の係数)

| E (MeV) | μ_a (1/m) | μ (1/m) | α | β | γ |
|---------|-----------------------|-----------------------|----------|---------|----------|
| 0.02 | 6.18×10^{-2} | 9.18×10^{-2} | 0.382 | -0.0392 | 0.0014 |
| 0.03 | 1.79×10^{-2} | 4.32×10^{-2} | 1.219 | -0.0673 | 0.0025 |
| 0.04 | 7.95×10^{-3} | 3.08×10^{-2} | 2.251 | 0.0905 | -0.0002 |
| 0.05 | 4.85×10^{-3} | 2.62×10^{-2} | 2.852 | 0.5033 | 0.0015 |
| 0.06 | 3.70×10^{-3} | 2.39×10^{-2} | 2.960 | 0.9288 | 0.0215 |
| 0.08 | 3.04×10^{-3} | 2.14×10^{-2} | 2.719 | 1.1714 | 0.1095 |
| 0.10 | 2.99×10^{-3} | 2.00×10^{-2} | 2.485 | 1.0343 | 0.1600 |
| 0.15 | 3.24×10^{-3} | 1.75×10^{-2} | 2.042 | 0.6942 | 0.1651 |
| 0.20 | 3.47×10^{-3} | 1.59×10^{-2} | 1.602 | 0.6458 | 0.1167 |
| 0.30 | 3.72×10^{-3} | 1.38×10^{-2} | 1.117 | 0.6743 | 0.0366 |
| 0.40 | 3.81×10^{-3} | 1.23×10^{-2} | 1.045 | 0.5391 | 0.0163 |
| 0.50 | 3.82×10^{-3} | 1.12×10^{-2} | 1.000 | 0.4492 | 0.0038 |
| 0.60 | 3.82×10^{-3} | 1.04×10^{-2} | 0.995 | 0.3654 | 0.0004 |
| 0.80 | 3.72×10^{-3} | 9.11×10^{-3} | 0.983 | 0.2491 | -0.0023 |
| 1.0 | 3.60×10^{-3} | 8.19×10^{-3} | 0.948 | 0.1824 | -0.0028 |
| 1.5 | 3.30×10^{-3} | 6.66×10^{-3} | 0.878 | 0.0879 | -0.0019 |
| 2.0 | 3.06×10^{-3} | 5.71×10^{-3} | 0.798 | 0.0487 | -0.0012 |

表 3.1.2 (a) 横軸方向の拡散パラメータの計算に用いる係数

Table 3.1.2 (a) Coefficients for calculation of crosswind dispersion parameters

| Stability | A | B | C | D | E | F |
|----------------|----|----|----|----|----|----|
| $\theta_{0.1}$ | 50 | 40 | 30 | 20 | 15 | 10 |

表 3.1.2 (b) 鉛直方向の拡散パラメータの計算に用いる係数 (風下距離 0.2 km以上)

Table 3.1.2 (b) Coefficients for calculation of vertical dispersion parameters (for x not less than 0.2 km)

| Stability | σ_1 | a_1 | a_2 | a_3 |
|-----------|------------|--------|-----------|---------|
| A | 768.1 | 3.9077 | 3.898 | 1.7330 |
| B | 122.0 | 1.4132 | 0.49523 | 0.12772 |
| C | 58.1 | 0.8916 | -0.001649 | 0.0 |
| D | 31.7 | 0.7626 | -0.095108 | 0.0 |
| E | 22.2 | 0.7117 | -0.12697 | 0.0 |
| F | 13.8 | 0.6582 | -0.1227 | 0.0 |

表 3.1.2 (c) 鉛直方向の拡散パラメータの計算に用いる係数 (風下距離 0.2 km未満)

Table 3.1.2 (c) Coefficients for calculation of vertical dispersion parameters (for x less than 0.2 km)

| Stability | σ_1 | a_1 |
|-----------|------------|-------|
| A | 165. | 1.07 |
| B | 83.7 | 0.894 |
| C | 58.0 | 0.891 |
| D | 33.0 | 0.854 |
| E | 24.4 | 0.854 |
| F | 15.5 | 0.822 |

表 3.1.3 D₀ ファイルの各パラメータの値

Table 3.1.3 Values of elements for which the normalized doses are provided

| | | | | | |
|-------------------------|--|--|---|---|----------------|
| Gamma Energy (MeV) | 0.05, 0.08, 0.1, 0.15, 0.2, 0.5, 1.0 | | | | |
| Release Height (m) | 0., 10., 20., 40., 70., 100., 150., 200., 300., 500. | | | | |
| Stability | A, B, C, D, E, F | | | | |
| Downwind Distance (Km) | 0.01 0.02 0.05 0.1 0.2 0.3 0.4 | 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0 | 2.0 3.0 5.0 10.0 | 20.0 50.0 | 100.0 200.0 |
| Crosswind Distance (Km) | 0. 0.005 0.01 0.02 0.04 0.07 0.1 0.15 0.2 0.4 0.7 1.0 | 0. 0.02 0.05 0.1 0.2 0.3 0.45 0.7 1.0 1.5 2.0 4.0 | 0. 0.2 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.5 5.0 7.0 10.0 20.0 | 0. 1.0 2.0 4.0 7.0 10.0 15.0 20.0 25.0 35.0 50.0 100.0 | |

3.2 詳細計算コード

3.2.1 3次元風速場計算モデル (WIND04) ¹⁶⁾

地形の複雑な地域での物質の移流・拡散現象を正しく評価する為には、山や谷などの地形が気流や拡散の程度に与える影響を考慮しなくてはならない。急峻な山に向かって吹く風は山を迂回して谷に流れ込み谷沿いに強風域を生じるし、また比較的なだらかな山の場合は斜面を吹き上がる成分が大きくなるであろう。このような気流を表現する為には3次元モデルを用いる必要がある。WIND04は、Shermann ⁶⁾ (1978)により開発された方法に基づいて作成された計算コードで観測データを用いて3次元風速場を計算する機能を持つ。

(1) 概要

計算モデルの概要をFig. 3.2.1に示す。計算対象とする領域周辺にはいくつかの気象観測施設がある。第1段階としてこれらの施設で観測された風向、風速、安定度のデータを用いて、各格子点での風ベクトル (u^0, v^0, w^0) を内挿、外挿により求める。ここで u^0, v^0, w^0 は各々、x方向(東向き)、y方向(北向き)、z方向(上向き)の風速成分である。この時、風速の鉛直成分は実際にはゼロと見積る。これは通常的气象観測では風の鉛直成分は測定されない事による。ところでこのようにして観測値から単純に内挿によって得られた風速場は、本来満足すべき物理法則を満たしてはいない。地表付近の大気の流れはBoussinesq方程式系に支配される。この方程式系の中で時間変化を含まない式として質量保存の式

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad (3.2.1)$$

がある。現象の定常、非定常に関らず、内挿された風速場は(3.2.1)式を満たさなくてはならない。そこで、第2段階としては、内挿された風速場を質量保存則を満たすように修正する。この時、修正量の積分値を最小に抑える為に変分法を用いる。地形障壁の影響は、地表面付近

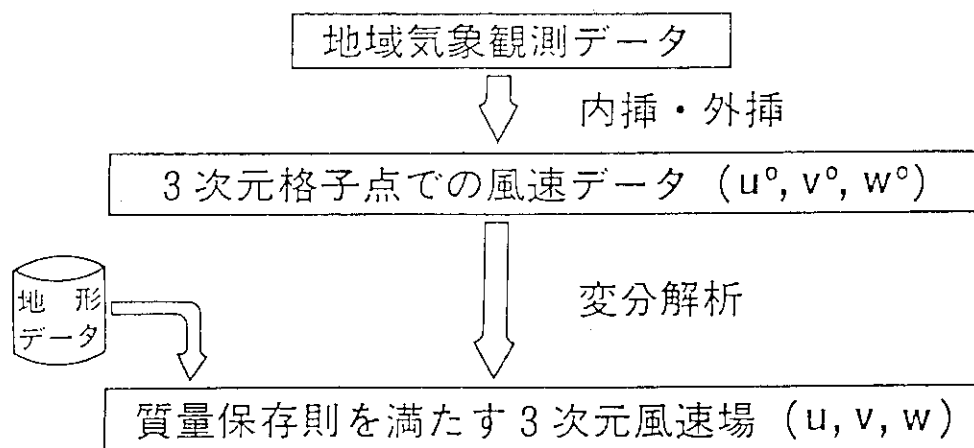


図 3.2.1 WIND04による風速場計算の概略

Fig. 3.2.1 Overall concept of wind field calculation by WIND04.

で生ずる風速場の見かけの発散（収束）を修正する事により風速場全体に反映される。こうして得られた風速場は、粒子モデルや差分モデルを用いた移流・拡散の計算に用いることができる。他、Boussinesq 方程式を時間積分して気象予測を行なう際の初期値としても有効である。

風速場が質量保存則を満たしている事は物質の移流・拡散の計算を行なう時には本質的に重要である。例えば風速場に収束が存在すると、拡散方程式の移流項が物質を集中させる動きをする。発散が存在する時は、この逆の動きをする。また粒子型拡散モデルでは拡散速度を導く際に風速場の質量保存則を用いている為、質量保存を満たす風速場と共に用いなければ矛盾を生じる。

(2) SPEEDI システムでの使用

WIND04 をシステムで使用する為には以下の様にコマンドを打てばよい。

| |
|--|
| WIND WIND04, { LOCAL } , STAB= { A } { F |
|--|

計算が始まるとまず地域データプールから標高データを読み、計算に用いる地形模型（Fig. 4.3.1を参照）を作成する。計算メッシュ、領域は地域データプールに準拠する。鉛直方向のメッシュ数は20、格子間隔は25mであるが、SET コマンドを用いることにより、再設定できる。地形模型が作成されると次に気象データプールから気象データを読み、3次元風速場の計算が実行される。計算結果は各格子点での風速の3成分（u, v, w）として風速場データプールへ出力する。この時の出力領域は地域データプールの領域と比べて側方境界で2メッシュ分だけ狭くなる。地表面より下の格子点についてはその事を示す為-999. が与えられる。

(3) ベンチマーク・テスト

WIND04 の検証の為のベンチマーク・テストとしては、大気拡散実験との比較、定容積気球を用いた流跡線観測との比較が行なわれている。前者については、次節の拡散モデルの項で説明されるので、ここでは流跡線観測との比較について示す。

流跡線観測は昭和56年度に行なわれた。電波発信機を取りつけ、設定高度300m に浮力調節された定容積気球を放球し、2台の受信機で方位角を測り気球の位置を決定する方法を用いた。放出点から20km 程度の距離までの流跡がこの方法により得られた。また気球発見者の協力により、到達位置の明らかな観測例が10ケースある。

流跡線の計算は次のように行った。まず放球時から数時間分の風速場をWIND04 を用いて計算し、次にこれらの風速場を入力として流跡線計算用ルーチンにより流跡線を一分刻みで計算した。計算領域は、広域（200km×200km）とし、鉛直方向は800m とした。

結果の一例をFig. 3.2.2 に示す。図中の黒丸は計算によって得られた流跡（気球の10分毎の位置）、白丸は観測された流跡線である。また気球が発見された地点を二重丸で示してある。放出点付近での流跡はかなりよく再現されており、また到達地点も、計算や観測に含まれる不確実性を考慮すればよく表現されていると言える。

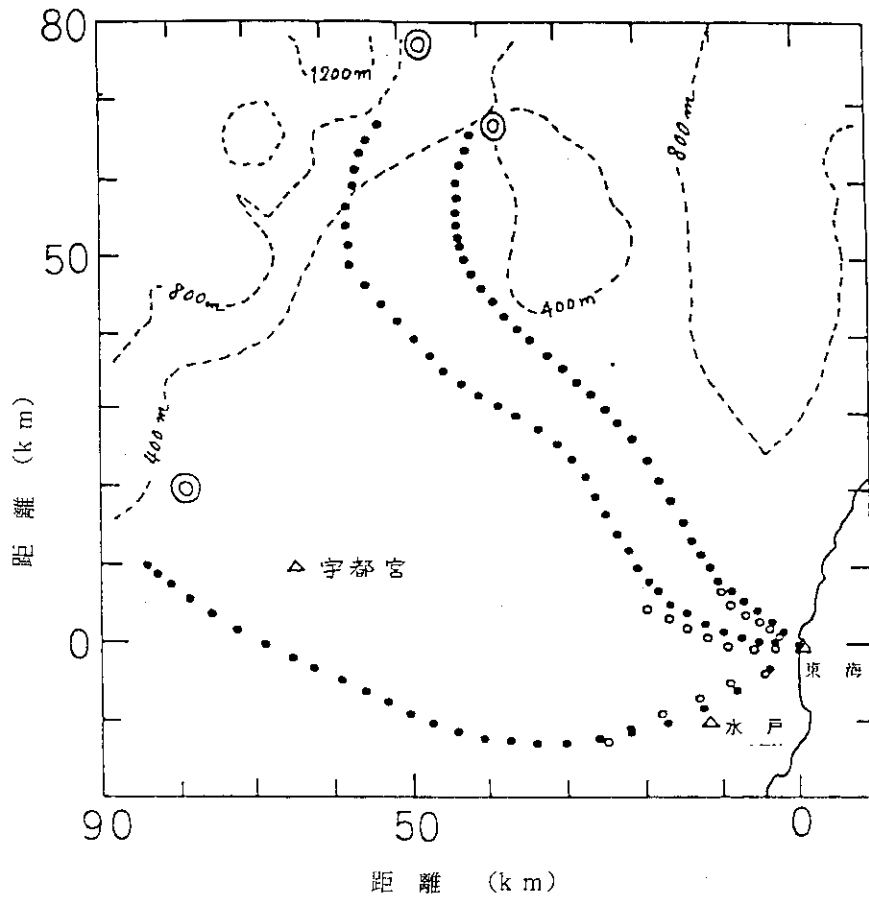


図 3.2.2 流跡線の比較 (1981年10月)。白丸は観測された流跡線, 黒丸は計算で求めた流跡線の10分毎の位置を示す。二重丸で示したのは, 各々のランについての気球の発見位置である。

Fig. 3.2.2 Comparison of observed and calculated trajectories.

○: Observation, ●: Calculation, ◎: Tetron recovery site

(4) モデルの持つ制約と今後の改良

WIND04 は閉じた力学方程式系を境界条件と初期条件を与えて解くような純粋な数学モデルではなく、あくまで観測データを基礎とした客観解析の一手法である。従って観測データの量と質は計算結果に直接影響する。観測点の分布の状況によっては、1つの不良な観測値が多くの格子点に影響を与えるような場合も生じうる。入力データの質を一定以上に保つような操作 (例えば統計手法を用いた異常値検定) を行なう必要がある。上層風データについては、少なくとも1ヶ所で上空数100m迄の観測がある事が望ましい。WIND04 では上層風データの入力状況により、自動的に内挿方法を選択するが、上層風データのない場合には、上層風方向は、各々の地点での地上風と同一であると仮定される。従って冬期の深夜、早朝のように、地表付近に強安定層が形成され、地上観測の空間代表性が低下する場合には結果の信頼性が落ちる。

WIND04 の計算結果に大きく作用するもう1つの要素として修正係数と呼ばれる2つのパ

ラメータがある。このパラメータの値は主として大気の成層状態に依存すると考えられる。現在 WIND04 では、この値は計算領域内で一定として扱っている為、大気の成層状態が空間的に変化する事は考慮されていない。将来の改良点としては、この係数を鉛直方向に変化させる様にする。また原研でのベクトル計算機の導入にともない、WIND04 を並列処理用書き直し、計算時間の短縮を計る予定である。

3.2.2 詳細濃度計算コード PRWDA¹⁷⁾

放出物質の移流・拡散を詳細にシミュレートするためには、いわゆる移流・拡散方程式を数値的に解く必要がある。数値解法としては、差分モデル、粒子拡散モデル等いくつか提案されているが、ここでは、粒子拡散法を用いた。粒子モデルを選択した理由は、

- ① 3次元の質量保存風速場と組み合わせて、複雑な拡散現象を扱うことができる、
- ② 差分モデルにみられる擬似拡散がなく、つねに質量保存則がみたされる、
- ③ 各粒子に、放射能、放出からの経過時間等の情報を付与できる、

等が挙げられる。

(1) 計算モデル

粒子拡散法は、Fig. 3.2.3に示すように、オイラー・グリッドを通過する放射性雲を模擬したラグランジュアン粒子群により放出物の空間分布を求めるモデルである。粒子群の移動は、風速場計算コード WIND04 で計算された3次元の風速場による移流項と、大気乱流に起因する拡散項の和で表わされる。移流の成分は、空間内の3次元オイラー・グリッド格子点に与えられた風速場から内挿した粒子の移流速度により求めることができる。

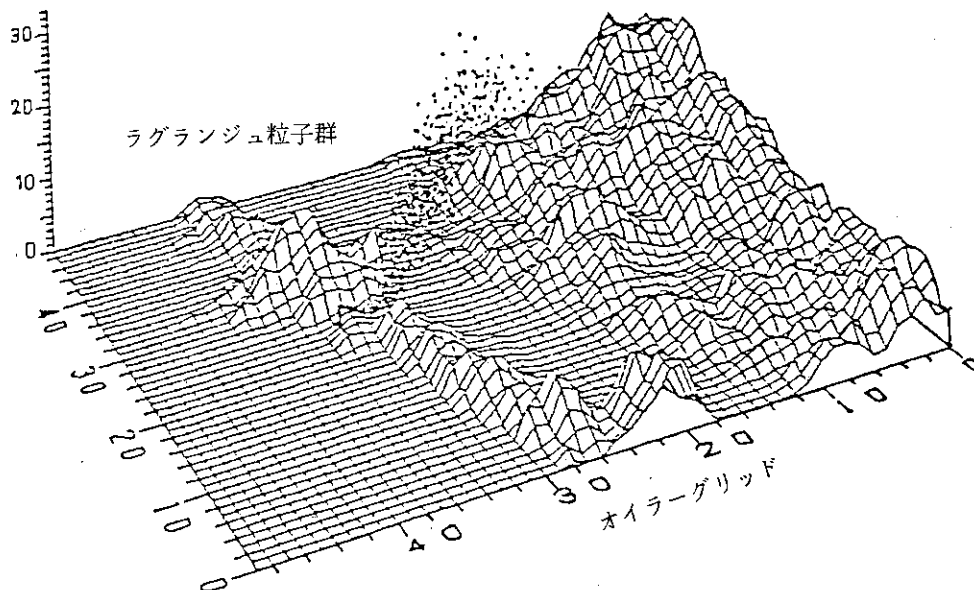


図 3.2.3 粒子拡散法の模式図

Fig. 3.2.3 Conceptual representation of particle diffusion method.

拡散の扱いについては、PICK法*とランダム・ウォーク法がある。ただし、ここでいうランダム・ウォーク法は、大気拡散で用いられる3次元の拡散方程式

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial x}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial x}{\partial z} \right), \quad (3.2.2)$$

の解法の1つとして、粒子をこの式にしたがうようにランダム・ウォークさせるもので、実際の大気中での粒子の動きを模擬しているものではない。ここで、 K_i は拡散係数、 x は濃度である。PICK法とランダム・ウォーク法のちがいは、PICK法では、拡散に各セル間の濃度勾配を用いるため、正しい拡散を行わせるためには、各セル内に十分な粒子数が必要になるのに対して、ランダム・ウォーク法では、各粒子の拡散が独立に行われるため、粒子数に対する考慮は濃度計算の統計誤差に対してのみにはらえばよい点にある。システムではオイラー・グリッド間隔を1000m×1000m×25mを基本にしており、水平方向の拡散については、かなり風下で分布が広がるまで、PICK法による取扱いはできない。これらの理由から本コードでは、水平拡散にランダム・ウォーク法、格子巾の小さい鉛直方向にPICK法を用いた。各手法について述べる。

(i) ランダム・ウォーク・モデル

一次元で拡散現象を考えると、原点からランダム・ウォークをはじめた粒子が Δt 時間後に位置 x に存在する確率密度関数 $p(x, \Delta t)$ は、よく知られているように正規分布となり、

$$p(x, \Delta t) = \frac{1}{2\sqrt{2\pi K \cdot \Delta t}} \exp\left[-\left(\frac{x^2}{4K\Delta t}\right)\right], \quad (3.2.3)$$

で表わされる。ここで K は拡散係数である。すなわち、ある環境のもとで、一点に粒子群が存在しているとする、 Δt 時間後の拡散による粒子群の分布型は平均値が0、標準偏差が $\sqrt{2K\Delta t}$ の正規分布型で表わされる。各々の粒子の拡散に対する確率密度関数を知ることが難しいが、中央極限定理によれば、もし各粒子の分布関数の平均値と標準偏差が等しければ粒子群全体の集積的分布は、正規分布に近づくはずである。ここでは簡便さのため、各粒子の拡散距離を与える確率密度関数は一様関数とした。粒子 P の Δt 間の拡散による移動距離 X'_p は

$$X'_p = [R]_{-\xi}^{+\xi}, \quad (3.2.4)$$

で表わされ、ここで $[R]_{-\xi}^{+\xi}$ は $-\xi$ から $+\xi$ までの一様乱数である。 ξ は X'_p の標準偏差が $\sqrt{2K \cdot \Delta t}$ に等しくなるように、次の様に求める。標準偏差 σ_x は、定義から、

$$\sigma_x^2 = \int_{-\xi}^{+\xi} p(x) \cdot x^2 dx, \quad (3.2.5)$$

であり、ここで $p(x)$ は、確率密度関数で $-\xi$ から $+\xi$ まで一様の場合

* PIC+K-theory (PICK)法の名称は、IAEA(1981)のモデル分類に依っているが文献8)のADPICではこの手法をPIC法としている。

$$p(x) = 1/2\xi, \quad (3.2.6)$$

(3.2.6) 式を (3.2.5) 式に代入して

$$\sigma_x = \xi / \sqrt{3}, \quad (3.2.7)$$

この式と $\sigma_x = \sqrt{2K\Delta t}$ の関係より

$$\xi = \sqrt{6 \cdot K \cdot \Delta t}, \quad (3.2.8)$$

となる。したがって (3.2.4) 式は、

$$X'_p = [R] \frac{\sqrt{6 \cdot K \cdot \Delta t}}{-\sqrt{6 \cdot K \cdot \Delta t}}, \quad (3.2.9)$$

となり 0 から 1 の一様乱数を R(1) とすると (3.2.9) 式は

$$X'_p = \sqrt{24 \cdot K \cdot \Delta t} (0.5 - R(1)), \quad (3.2.10)$$

と書き換えられる。本モデルでは、この手法を水平方向の移流拡散に用いており、ある時刻 t において (x_t, y_t) の位置に存在した粒子の Δt 後の位置 $(x_{t+\Delta t}, y_{t+\Delta t})$ は、

$$\left. \begin{aligned} x_{t+\Delta t} &= x_t + u_x \cdot \Delta t + x'_p \\ y_{t+\Delta t} &= y_t + u_y \cdot \Delta t + y'_p \end{aligned} \right\} \quad (3.2.11)$$

で表わされる。ここで右辺第 2 項は移流項であり、 x, y 方向の風速 (u_x, u_y) は、3次元風速場から内挿により求める。また x'_p, y'_p は (3.2.10) 式から求める量である。拡散係数 K は、

$$K = \frac{1}{2} \frac{d\sigma^2}{dt}, \quad (3.2.12)$$

の関係¹⁸⁾ から求めている。ここで σ は大気安定度別に風下距離 r の関数で与えられた気象指針の式¹⁹⁾ を用いるため (3.2.12) 式は

$$K = \frac{1}{2} \frac{d\sigma^2(r)}{dt} = \frac{1}{2} \frac{dr}{dt} \cdot \frac{d\sigma^2(r)}{dr} = u \cdot \sigma(r) \cdot \sigma'(r), \quad (3.2.13)$$

に書き換えられる。

(2) PICK モデル

PICKモデルによる移流拡散は以下の様に行われる。非線形の移流・拡散方程式は、

$$\frac{\partial x}{\partial t} + \bar{u}_A \cdot \nabla x - \nabla (\bar{K} \cdot \nabla x) = 0, \quad (3.2.14)$$

で表わされるが、ここで非圧縮仮定を用いれば

$$\nabla \cdot \bar{u}_A = 0, \quad (3.2.15)$$

であり、拡散の速さを

$$\bar{u}_d \equiv -\bar{K} \cdot (\nabla x / x), \quad (3.2.16)$$

で定義すると、(3.2.14)式は(3.2.15)、(3.2.16)式より

$$\frac{\partial x}{\partial t} + \nabla(x \cdot (\bar{u}_A + \bar{u}_d)) = \frac{\partial x}{\partial t} + \nabla(x \cdot \bar{u}_p) = 0, \quad (3.2.17)$$

となる。ここで \bar{u}_p は仮想速度と呼ばれ、3次元風速場からの内挿により求める移流速度 \bar{u}_A と、(3.2.16)式により与えられる拡散速度 \bar{u}_d の和で与えられる。これを鉛直方向の粒子の移流拡散にあてはめると、時刻 t での粒子位置を z_t 、粒子に与えられた仮想速度を $u_{p,z}$ とすれば、 Δt 後の粒子位置 $z_{t+\Delta t}$ は

$$z_{t+\Delta t} = z_t + u_{p,z} \cdot \Delta t, \quad (3.2.18)$$

で表わされる。(3.2.16)式において拡散係数 K は、 z 方向の $\sigma(r)$ を用いて(3.2.13)式から得るか、高さ方向の関数として与える。また濃度勾配は、粒子が含まれるセル内の粒子数と、その上下のセルの粒子数の差から、差分により求める。

以上のように、本モデルでは、放出源から発生した粒子群は、(3.2.11)式と(3.2.18)式により、 Δt ステップごとに移流・拡散していく。ここで Δt は、1ステップで粒子が1セル以上移動しないように決定する。

(3) 入出力

(i) 入力

本コードに入力されるデータは、コマンドのオペランドとして、放出開始の日時、予測日時、事故サイト施設名、放出高度、希ガス、ヨウ素の放出率と放出継続時間である。気象データ、風速場データは、予測日時にもとづき各データプールから、また標高のデータは事故サイト名にもとづき地域データプールから入力される。また、このモデルは上層の風向・風速変動の他に上層の大気安定状態の変化(例えば、内部境界層)を考慮できるが、データは鉛直気温データ等をもとに気層を3層に分け、それぞれに大気安定度を割りあて、SETコマンドで入力する。

(ii) 出力

計算により得られる出力は、1時間平均の3次元空間濃度分布、地表面沈着量である。これらのデータは濃度データプールに24時間分保存される。そのほかに、放出された粒子の計算終了時の位置が粒子ファイルに記録され、次の時間からのシミュレーションの際に、入力データとして利用される。

(4) ベンチマーク・テスト

(i) 解析解との比較

本モデルの検証のため、始めに単純な流れ場での連続放出について計算を行い、解析解との比較を行った。環境条件として、地形が平坦で、風速場は全領域で 1 m/s 、風向は一定とした。比較に用いた解析解の濃度分布式は、いわゆるガウス・ブルーム・モデルの式である。本モデルの計算では1時間に 10^4 個の粒子を発生させ、評価地域内で煙の流れが定常になったのち比較した。

Fig. 3.2.4は、大気安定度Dで放出高度150m の場合の風下軸上における放出高度及び地上濃度分布である。図中の実線は解析解で、

$$x(x, y, z) = \frac{1}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left[\exp\left\{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right\}\right], \quad (3.2.19)$$

で表わされる。ここで σ_y , σ_z は分布の標準偏差であり、本モデルで拡散係数を求めるために用いた(3.2.13)式の $\sigma(r)$ と同じ値を用いている。図に示すように、両モデルの結果はよく一致した。なお本計算は、プルームの主軸がセルの境界を通る条件で行っており比較にもちいた値は、風の主軸に隣接するセル内の値である。

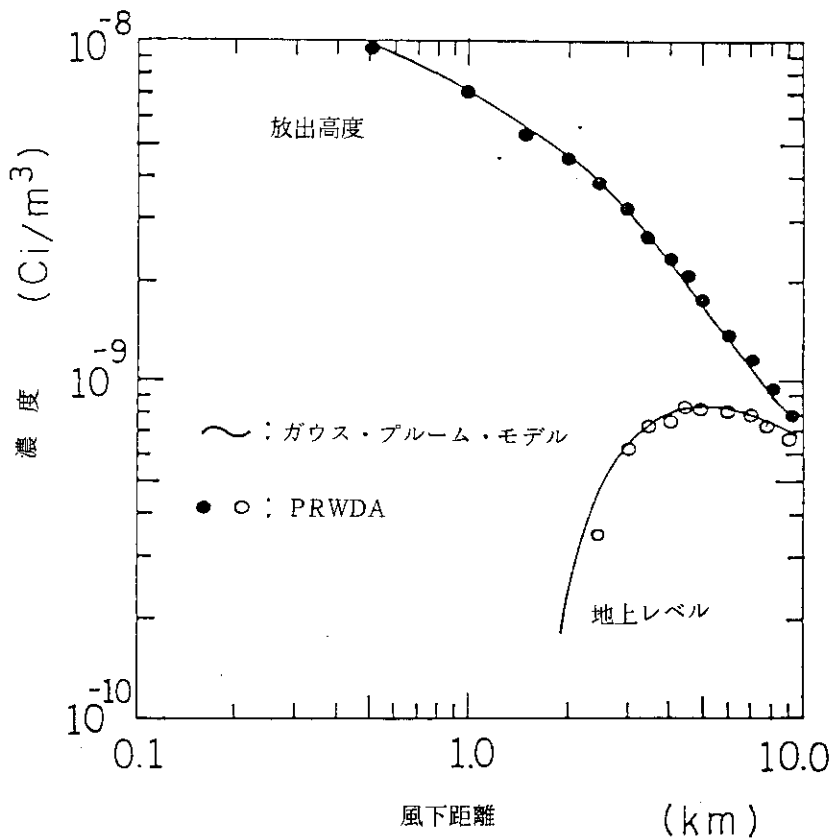


図 3.2.4 ガウス・プルーム・モデルとPRWDA の風下軸上濃度分布の地上と放出高度での比較。放出高度は150m , 大気安定度はDとした。

Fig. 3.2.4 Comparison of downwind concentration at the ground level and release height between this model and gaussian plume model, release height is 150 m and atmospheric stability is Pasquill D.

(3) 野外拡散実験との比較

計算モデルの開発に資するため、茨城県東海村において昭和55年から4年間野外拡散実験を行った²⁰⁾。このうち、当初2年間は、沿岸地域特有の内部境界層形成時の鉛直拡散機構を調査するために、鉛直濃度分布の測定を主眼に行った。実験配置の概要をFig. 3.2.5に示す。トレーサはSF₆を用い、ヘリコプタで海岸沿い5~6kmを数回往復して高度150mから90分間放出した。サンプリングは、地上から50mごとにサンプラーをつけた係留気球4台と30個の地上サンプラーを風下方向に配置し、放出時間の後半30分間に行った。実験時の気象観測としては、地上風向・風速分布、鉛直風向・風速分布、鉛直温度分布の測定等を行っている。実験は昭和55年に7ラン、56年は10ラン行われており、本モデルを用いてすべてのランをシミュレートしたが、ここではそのうち、従来の簡易計算モデルでは表現できない風向・風速の鉛直分布の著しく異なる場合と、内部境界層が発達している場合の計算結果について述べる。

昭和55年10月19日13時から行われたラン7では、高度100mに温度の逆転層が形成され、Fig. 3.2.6のパイロット・バルンによる鉛直風向・風速測定に示すように地上から250mの間に半時計回りに180°以上風向が変動しており弱風の状態であった。放出条件は、放出率を7.6m³/h、放出高度150m、ヘリコプタの旋回分を考慮した放出ライン6400m、飛行速度14.5m/sとした。大気の流れの鉛直分布は、係留気球昇降時に測定した気温の鉛直分布から米国方式の大気安定度決定法²¹⁾により、安定度階級を用いて分類した。ラン7では、高度100mまで安定度D、200m以上でEとして(3.2.13)式で鉛直拡散係数を求めた。風向・風速については、茨城県公害技術センター*で通常観測を行っている地上風向・風速35地点のデータのみ使用してベキ乗則により鉛直風速分布を推定した場合と、これに実験時に行われた地上及び鉛直風向・風速を加えた実測に基づく鉛直風向・風速分布推定を行った場合についてのシミュレーションを行った。風速場は1時間単位で計算されるが、Fig. 3.2.7は、後者の場合の14時の海拔高度50mと200mの風向・風速の地域分布である。高度50mでは、東北東よりの風であるが200mでは北方からの流れが支配的になっている。Fig. 3.2.8は風向・風速シアを考慮した時の計算された地上濃度分布である。風速が弱いため、ガスは、風下方向へあまり流れなかった。地上濃度分布図の破線は、地上サンプラーの実測値を示している。Fig. 3.2.9は鉛直濃度分布での比較で、破線が係留気球による実測値、実線は、風速場計算の初期推定のさい風向・風速の鉛直分布を実測を考慮した場合の濃度計算値、一点鎖線は、地上観測から風速鉛直シアのみ推定した場合の濃度計算値である。もっとも風下の係留気球での比較にみられるように、風向シアの影響で放出ラインの風下側に配置された係留気球の150m以上のサンプラーで、トレーサが検出されない状態が実線の場合よく表現される。

昭和56年8月25日12時から行われた56年度実験のラン8では、夏期の強い日射により、Fig. 3.2.10の係留気球の温度分布が示すように内部境界層が海岸線から発達し、上空に強い温度逆転層が形成された。風速は比較的強く、大きな風向鉛直シアはなかった。放出条件は、放出率11.0m³/h、放出高度150mで放出ラインは直線6.6kmとし、旋回時には

* 茨城県庁公害課及び原子力安全対策課でデータ収集している。

放出を停止している。計算では、速度を 41.2m/s 、コース片道に 160s 、旋回に 95s かかるものとして、旋回中は放出量を 0 とした。大気の流れの鉛直分布は、観測された気温傾度をもとに高度 50m まで大気安定度 B、 200m まで D、それ以上で E として (3.2.1.3) 式で鉛直拡散係数を求めた。Fig. 3.2.1.1 は、上記のように内部境界層をモデル化して計算を行った場合の鉛直濃度分布で、破線が係留気球による実測値、実線が計算値である。高度 200m 以上の安定層で拡散が抑制されている状態や、地面近くの不安定層で拡散が促進される状態が、鉛直の流れ分布を与えることで表現できる。これを従来の一層モデルのガウス・ブルーム式で地上付近の大気安定度（この場合 B）のみを用いて計算を行った場合、結果は明らかに異なる。Fig. 3.2.1.2 は、風下軸上の地上濃度分布についての実測、ガウス・ブルーム・モデル、本コードの結果の比較である。上層の安定層から放出されたガスは、小さな拡散で風下に移流し、下層の不安定層にトラップされて急激に拡散し、地上に高濃度をもたらす。そのため最大濃度地点は、地上付近の安定度から推定される地点より遠方になるが、地上付近の安定度を用いたガウス・ブルーム式では、この現象は表現できない。一方、本コードで用いた多層モデルを用いると上記の現象を表現することができた。

本コードは、複雑地形において使用できるように設計されており、現在、複雑地形での風洞実験との比較等によるベンチマーク・テストを進めている。

(4) モデルの制約と今後の改良

現在、PRWDA は、3次元の移流・拡散の取扱いで一応の成果をおさめているが、沈着量の評価に問題が残っている。モデルは、サーフェス・デプレッション・モデルを用いておりソース・デプレッション・モデルより現実的であるが、鉛直拡散に用いる濃度勾配は、すべての核種の放射能の濃度差をもとに行っているため、沈着性の核種を含む混合ガスの拡散を扱う場合、沈着核種の地上付近の濃度減少の影響が他の核種の分布にも影響して矛盾が生じる。この点を改良するため、現在、鉛直拡散についてもランダム・ウォーク・モデルで取扱えるように、コードの改良を進めている。

また、洗浄率、沈着速度については、多くの実験データが出されているが、これについての調査を進め妥当な値を検討していく。

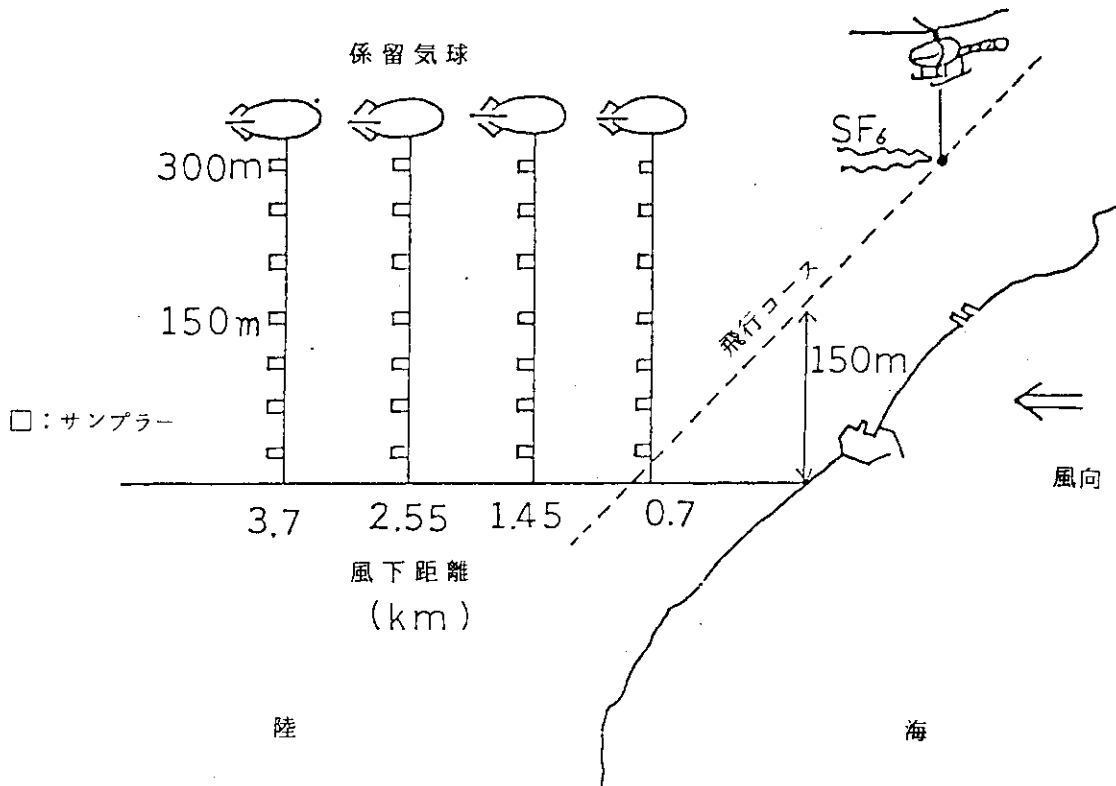


図 3. 2. 5 昭和55, 56年度拡散実験の SF₆放出ラインと測器の配置

Fig. 3. 2. 5 Deployment of instruments and release line of SF₆ tracer in a field experiment. (FY 1980 and 1981)

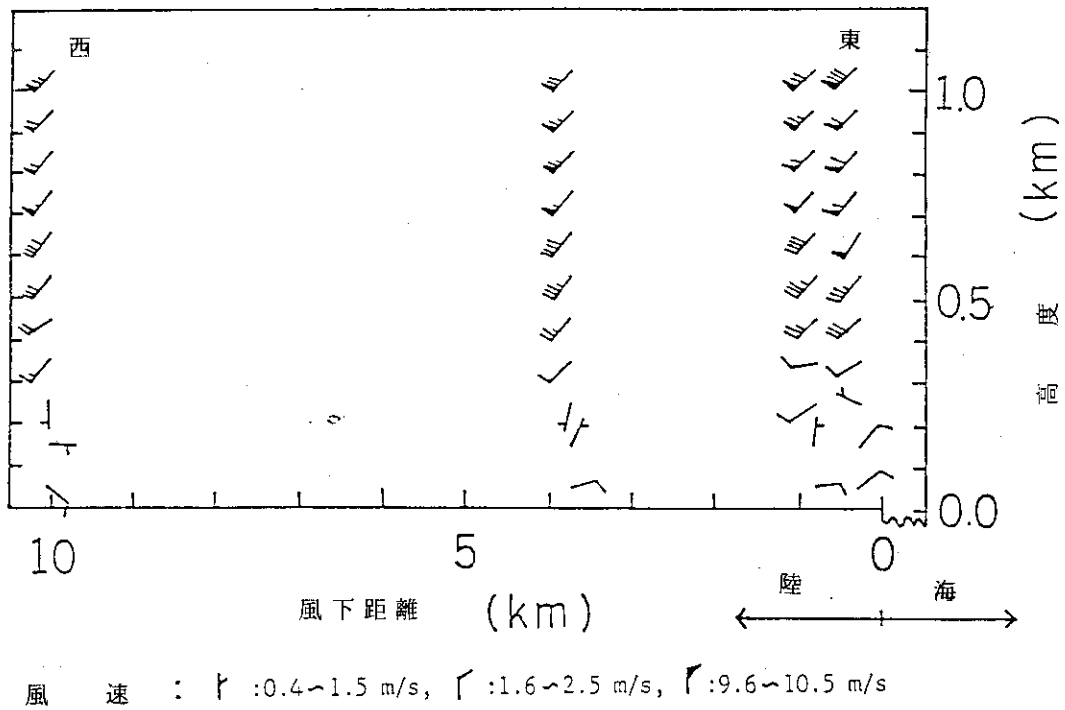
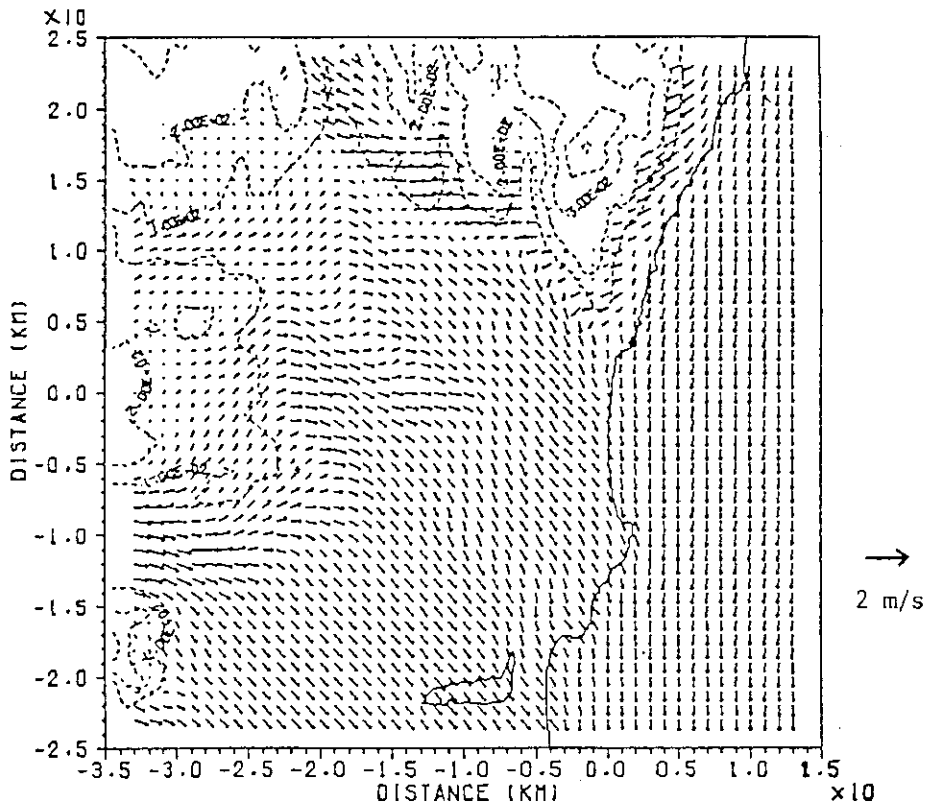
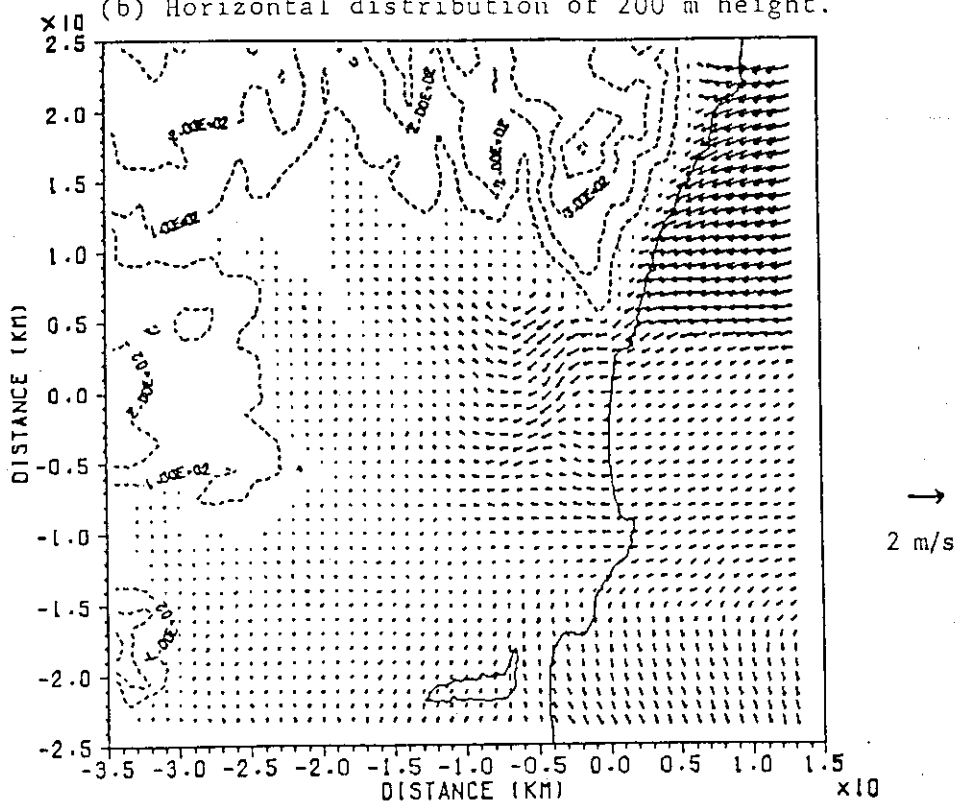


図 3. 2. 6 昭和55年実験ラン7で観測された鉛直風速分布

Fig. 3. 2. 6 Observed wind profile at Run 7 of '80's field experiment.



(b) Horizontal distribution of 200 m height.



(a) Horizontal distribution at 50 m height.

図 3.2.7 ラン7の海拔50mと200mにおける計算された風速場

Fig. 3.2.7 Three-dimensional wind field at 50 m and 200 m height of Run 7.

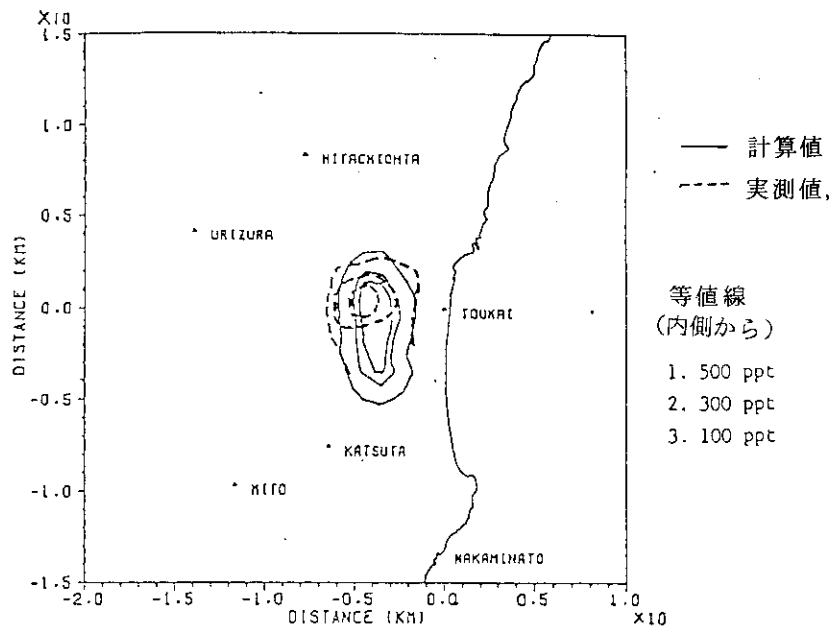


図 3. 2. 8 ラン7での計算と実測の地上濃度分布の比較

Fig. 3. 2. 8 Comparison of concentration distribution by this model with observed data at the ground level (Run7).

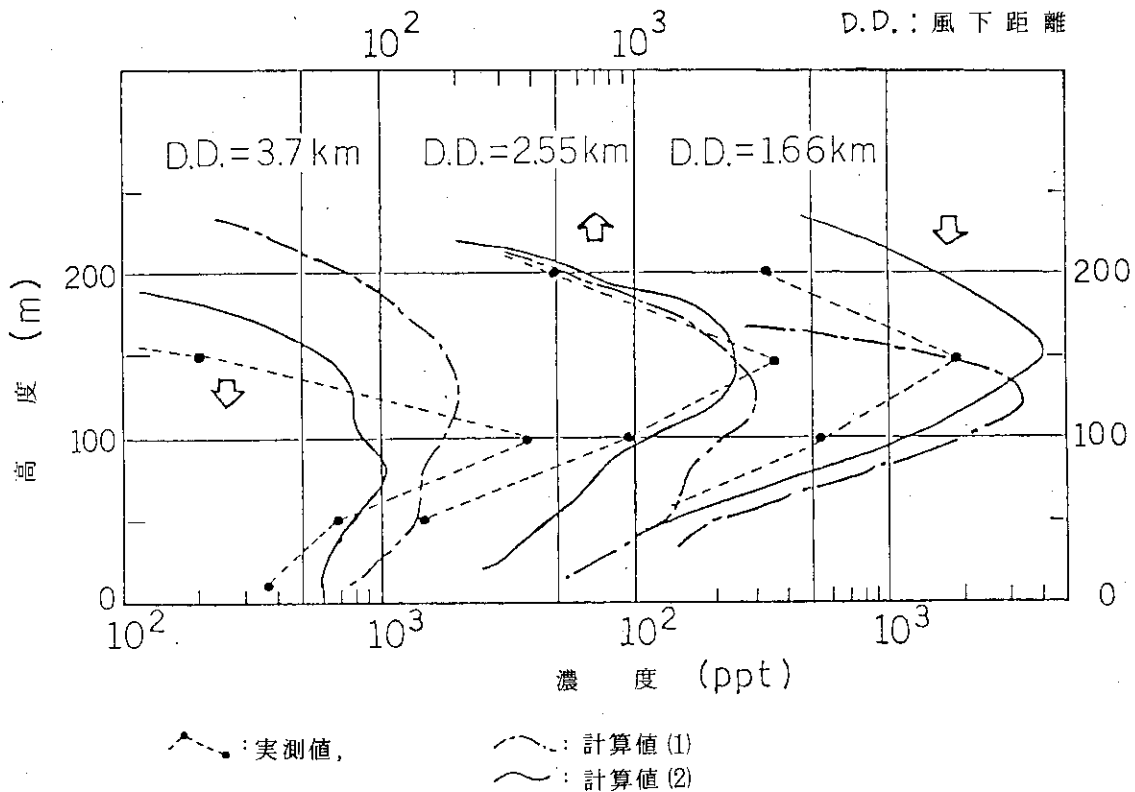


図 3. 2. 9 ラン7での計算と実測の鉛直濃度分布の比較

Fig. 3. 2. 9 Comparison of vertical concentration distribution by this model with observed data (Run7).

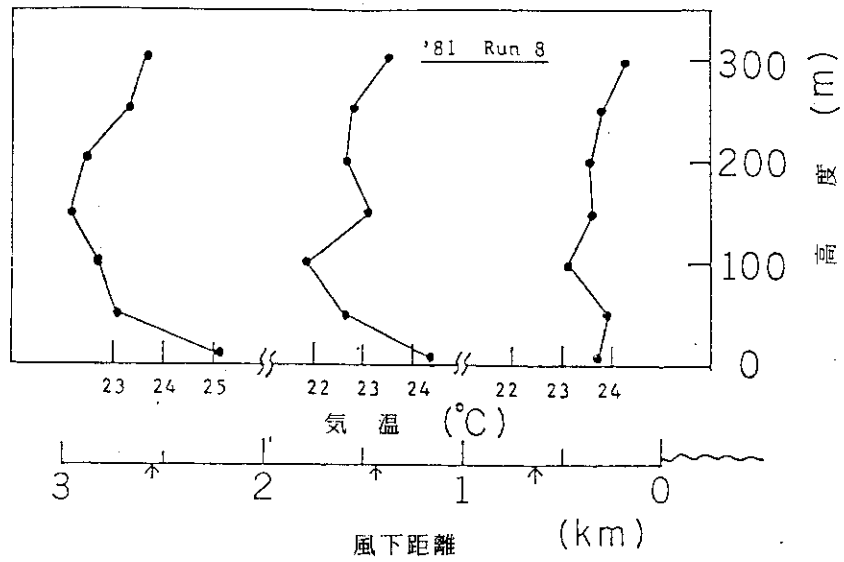


図 3. 2.10 昭和56年実験ラン 8 の気温鉛直分布

Fig. 3. 2.10 Vertical distribution of temperature at Run8 of '81's.

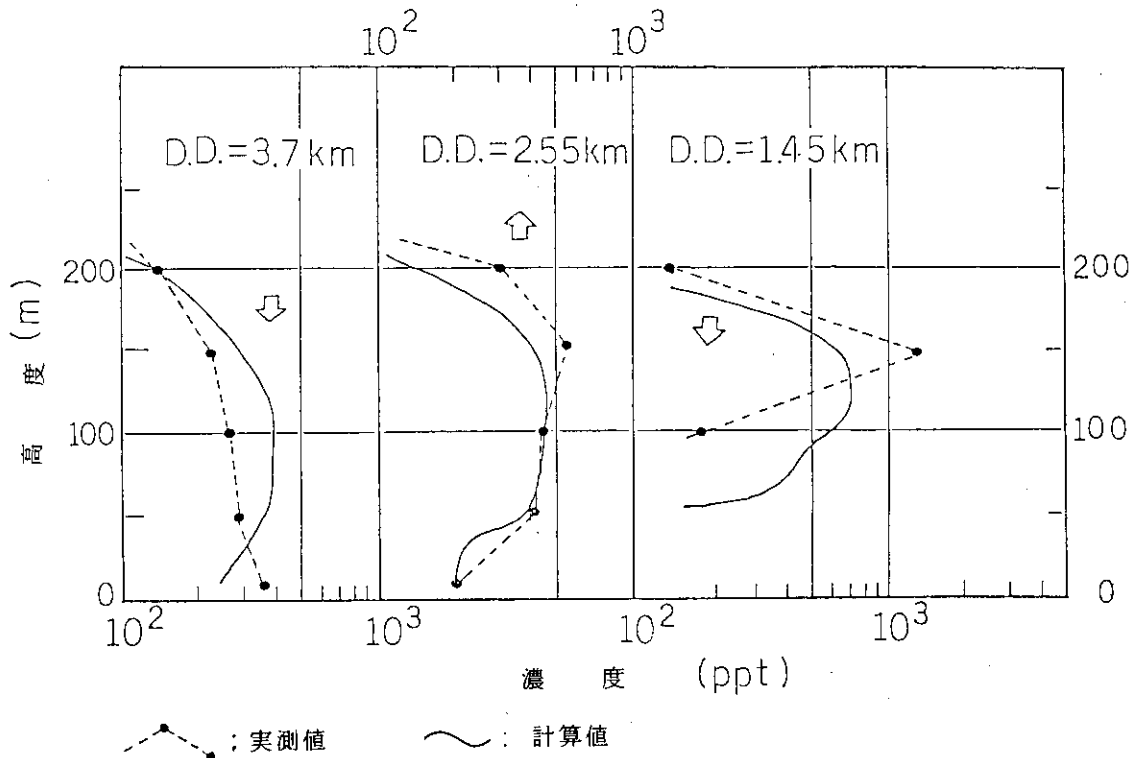


図 3. 2.11 ラン 8 における計算と実測の鉛直濃度分布の比較

Fig. 3. 2.11 Comparison of vertical concentration distribution by this model with observed data (Run 8).

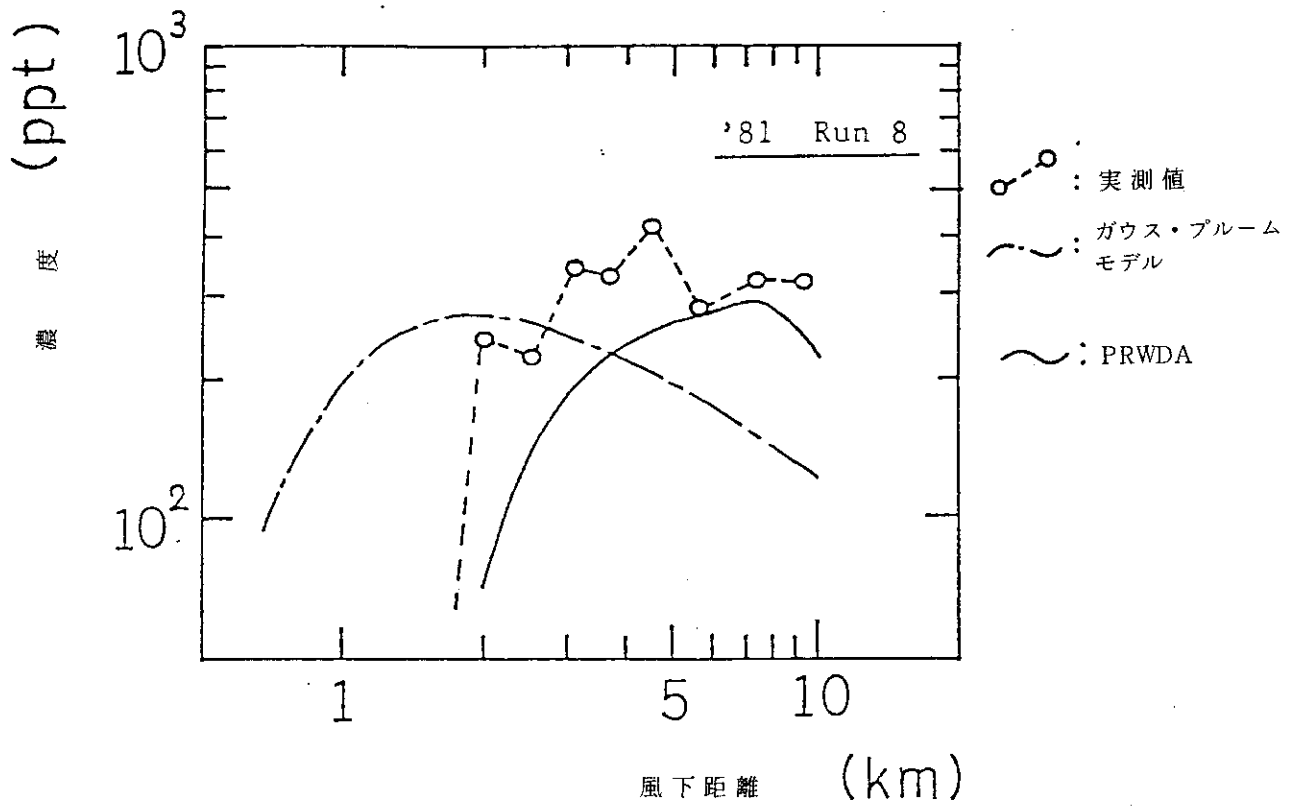


図 3. 2.12 風下地上濃度分布の計算と実測の比較 (ラン 8).

Fig. 3. 2.12 Comparison of downwind concentration distribution by our model with observed data at the ground level (Run 8).

3.2.3 線量セル計算コード CIDE

(1) CIDEの概要

CIDE は、粒子型拡散モデル¹⁷⁾ から計算される濃度分布からの被曝線量 (γ 線外部被曝線量および内部被曝線量) を計算するために開発したコードである。計算の最も中心となる γ 線による外部被曝線量は、空間を任意の大きさのメッシュに分割してできるセルの中の平均濃度がセル内に一様に分布していると仮定して評価する線量セル・モデルを用いて計算される。線量セル・モデルを用いて得られる結果は、ガウス型濃度分布のときの数値積分結果との比較でよく一致することが確かめられている²²⁾。ただし、結果の精度がセルの大きさに依存するために、計算条件や計算時間を考慮して適切なものを選ぶことが必要である。SPEEDI コード・システムでは、サイト狭域の線量計算には x, y 方向のセルの大きさは 250m, z 方向のセルの大きさは 25m とし、広域の線量計算には x, y 方向を 500m または 1000m, z 方向を 25m を基本として用いるようにしてある。しかし、計算する対象に応じて別のセルの大きさを選択することも可能である。ただし、そのときには CIDE で用いる線量換算係数を計算するコード DUC を用いて、線量換算係数データ・ファイルをあらかじめ作成しておく必要がある。CIDE および DUC で用いている計算方法やデータの詳細は他の文献を参照されたい²²⁾。

線量モデル CIDE が出力する線量は、照射線量率 (単位は $\mu\text{R}/\text{hr}$)、 γ 線外部被曝線量当量 (単位は mrem)、放射性ヨウ素の吸入による甲状腺被曝線量当量 (単位は mrem)、その他の核分裂生成核種の吸入による内部被曝線量当量 (単位は mrem) の 4 種類である。ただし、ヨウ素およびその他の核分裂生成核種による内部被曝線量当量は年齢グループを大人、幼児、乳児の 3 つに分けて評価する。また、ヨウ素以外の核分裂生成核種による内部被曝では実効線量当量と最大となる臓器線量当量の両方を計算している。ヨウ素以外の核分裂生成核種としては、 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs を含む 34 核種を現在対象としてある*。

(2) 入力パラメータの指定方法

SPEEDI システムでは、計算された瞬時濃度データプールを用いて線量計算が行われる。濃度計算では放射性崩壊による放射能の減衰補正を行わず、線量計算を行う段階で REL コマンドで核種名を指定して補正する。核種名の指定の方法は次の 3 種類に分けられている。第 1 に希ガス、これは Kr, Xe の放射性同位元素 15 核種全体を指している。第 2 にヨウ素、これは I の放射性同位元素 7 核種全体を指している。第 3 に希ガスおよびヨウ素を除く主要核分裂生成核種 34 個を各々指定できる。

REL コマンドでは、放出量に関する情報の種類によって情報モードというパラメータ名で入力形式を区分している。情報モードが 1 の場合を希ガスまたはヨウ素の全放出率を入力するときとする。情報モードが 2 の場合を、モニタリングなどによって得られる希ガスまたはヨウ素のある特定の卓越核種 (たとえば ^{85}Kr または ^{131}I) の放出率を入力するときとする。情報モードが 3 においては、希ガス 15 核種またはヨウ素 7 核種の各放出率を入力する。情報モード

* SPEEDI システムが用いている核種の光子エネルギー、崩壊定数などの核種物理データは原研安解部核燃料施設安全解析室から提供されたものである。

が4においては、希ガスとヨウ素を除く主要核分裂生成核種の放出率を入力する。情報モードが1または2の場合、軽水炉の炉型(BWR, PWR)および燃焼度に応じた原子炉停止時の希ガスまたはヨウ素の同位体組成率をもとに、原子炉停止時から放出率決定時までの時間によって減衰補正を行う。これについては、3.3節の放出源情報の計算法で詳しく述べる。

REL コマンドの具体的な使用例を次に示す。

例1 (下記の条件で線量計算を行う)

放出率決定年月日 1982年10月10日
 放出率決定時分秒 午後2時30分
 情報モード 1
 希ガス全放出率 10 Ci/hr
 ヨウ素全放出率 5 Ci/hr

```
REL(Q) 1, 821010, 143000, NOBLE, 10., +
        IODINE, 5.0
```

例2 (下記の条件で線量計算を行う)

放出率決定年月日 1982年10月10日
 放出率決定時分秒 午後1時25分
 情報モード 4
⁹⁰Sr 放出率 1.2 Ci/hr
¹³⁷Cs 放出率 1.5 Ci/hr
¹²⁹Te 放出率 3.0 Ci/hr

```
REL(Q) 4, 821010, 132500, SR90, 1.2, +
        CS137, 1.5, TE129, 3.0
```

REL コマンドで核種名とその放出率を入力した後に、DOSEコマンドによって線量計算の実行を行う。実行に際して入力しなくてはならないパラメータは次の通りである。

- ① 線量計算モデル名
- ② 計算対象を狭域 (LOCAL) とするか広域 (REGIONAL) とするか
- ③ 線量計算に用いる濃度を計算した濃度モデル名

線量予測開始時刻や予測時間幅を DOSE コマンドで再設定することができるが、通常は省略して TIME コマンドで設定された値で実行される。

DOSE コマンドの具体的な使用例を次に示す。

例 (下記の条件で線量計算を行う)

線量計算モデル名 CIDE
 計算対象地域 狭域
 濃度モデル名 PRWDA
 時間に関するパラメータは TIME コマンドで設定されたものを用いる

DOSE(Q) CIDE , LOCAL , PRWDA

(3) 外部被曝モデルの精度とその制約

CIDEは、SPEEDIコード・システムの風速場および濃度の詳細モデルWIND04¹⁶⁾、PRWDA¹⁷⁾との組合せで用いられる線量計算コードである。したがって、SPEEDIが出力する線量値の予測精度は一連の計算のトータルの精度として現われる。線量モデルがもつ個々の精度は、空間内の任意の点における濃度が与えられたときに地上の任意の点での被曝線量の予測値の実測値からのずれで表わされる。しかし、それを実際に評価することは困難なので、ガウス型の濃度分布を仮定したときのモデルの予測値を、計算精度の高いガウス型分布からの線量値と比較することによってモデルの精度を評価する。ここで比較する2つの計算モデルは同一の線量計算の基本式に従っており、計算に用いる濃度データが関数型で与えられるか空間内の離散データとして与えられているかの違いだけである。したがって、2つの計算モデルの評価値の差は離散データの与えられる密度にのみ依存する。しかし、この離散データの数を簡単な内挿によって増やすことはできない。なぜならば、CIDEが用いるPRWDAは粒子型拡散モデルであり、出力される空間内の格子点の濃度はその点を中心とするセルの平均濃度であるからである。Fig. 3.2.13およびFig. 3.2.14にCIDEの結果とガウス分布の関数を3次元にわたって数値積分するコードGAMPUL²³⁾の結果との比較を示す。前者は風下軸上での比較を示し、後者は風下軸上1kmでの横軸方向の比較を示している。計算条件は、大気安定度を風下軸上の比較でD、横軸方向の比較でFとし、放出高100m、光子のエネルギーを1MeVとしてある。計算セルの大きさすなわち離散データの密度に精度が依存することが明らかである。しかし、x、y方向のセルの大きさが250m以下ならば放出点近傍1km付近でも良い精度が得られる。さらに種々の条件での計算の比較については文献(22)を参照されたい。

(4) 内部被曝モデルの制約

内部被曝線量の評価には臓器の質量と体内での放射性核種の代謝パラメータが必要である。しかし実際の数値を用いることは不可能なので、通常は放射線管理・防護のために使用する平均値(または代表値)を用いる。したがって、計算される結果は個体差を考慮していない代表値(または平均値)として取扱うべきものである。

原子炉施設の事故時に内部被曝で最も問題となる核種は放射性ヨウ素である。ヨウ素は、大人でわずか20gの臓器である甲状腺に選択的に集まるために、甲状腺被曝線量が重要な評価対象となる。とくに乳幼児は甲状腺の質量や代謝パラメータが大人と異なるためにより大きな線量をもたらす。したがって、乳幼児の線量評価のためのデータはすべて大人のデータを代用することなく吟味されたものを用いるようにしてある。

ヨウ素に対して、他の核分裂生成核種についての乳幼児のデータはほとんど得られていないので、大人のデータすなわちICRP Pub. 30の数値をそのまま適用してある。今後、乳幼児のデータに関する研究の蓄積によって改良されなければならないものである。

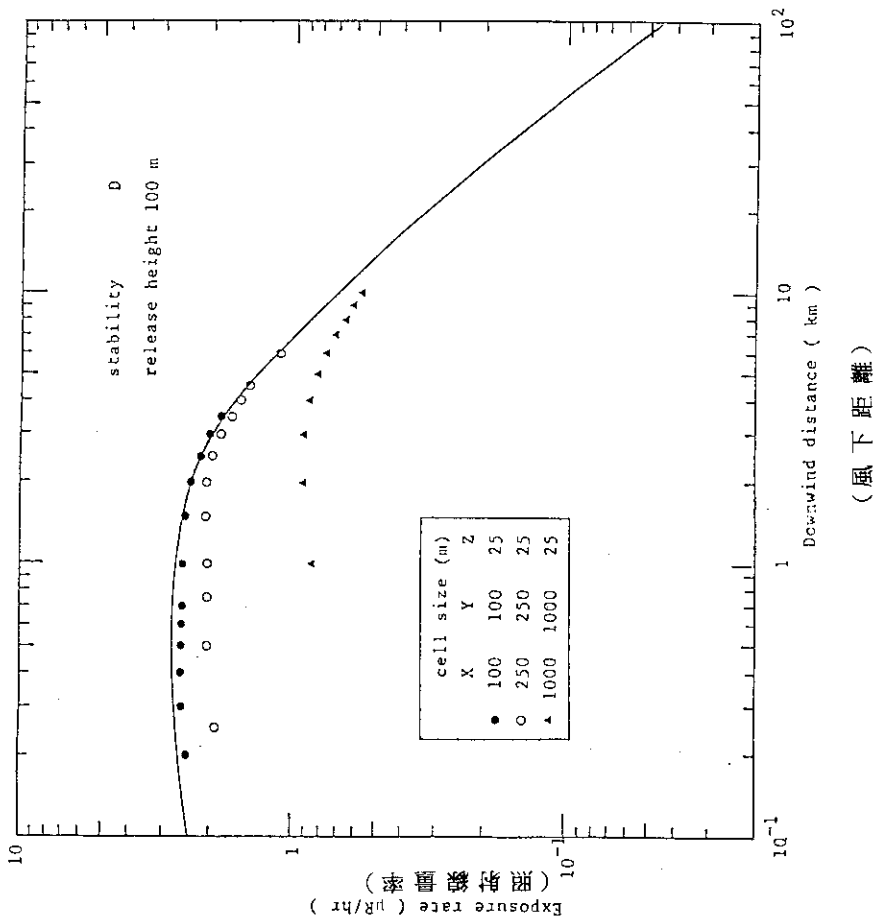


図 3.2.13 ガウスプルームのときの線量セルモデルによる結果と数値積分解(GAMPUL)との比較 (風下軸方向)

Fig. 3.2.13 Comparison of distribution on the downwind axis between the results of CIDE and GAMPUL in case of Gaussian distribution.

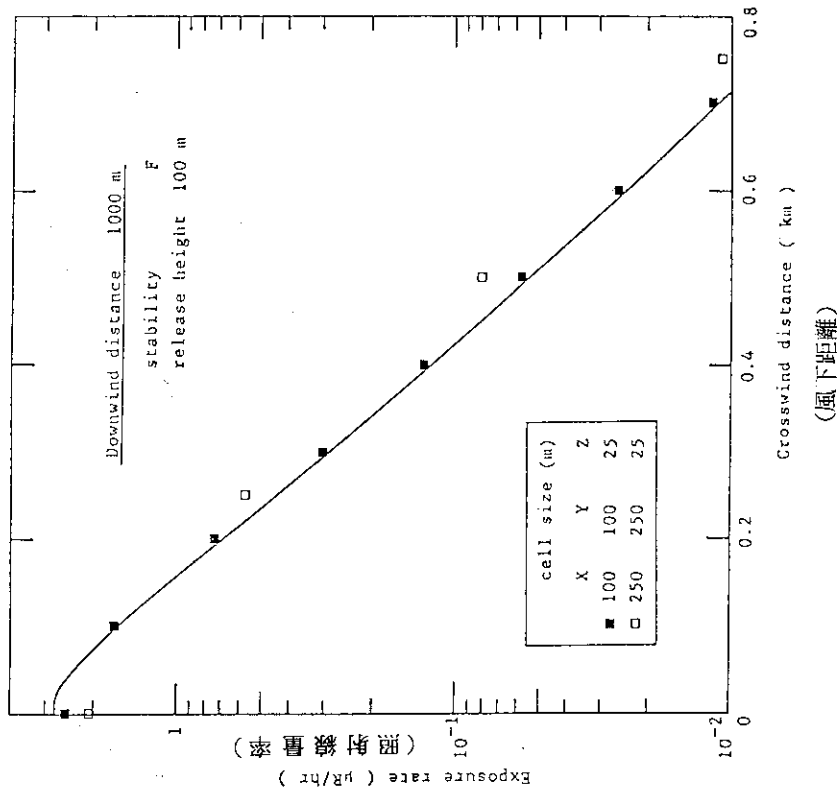


図 3.2.14 ガウスプルームのときの線量セルモデルによる結果と数値積分解(GAMPUL)との比較 (横軸方向)

Fig. 3.2.14 Comparison of distribution in the crosswind axis between the results of CIDE and GAMPUL in case of Gaussian distribution.

3.3 放出源情報推定コード

3.3.1 概要

SPEEDI コード・システムでは、放出源情報はシステム外部から入るものとして、すなわち計算のための入力データとして取り扱っている。しかし、事故後早急に詳細な情報が入手される可能性は小さい。そのために、希ガスの全放出率*はわかっているが希ガスの同位体組成が明らかでない場合、線量計算に必要な光子エネルギーや崩壊定数を決定できない。このような状況を考慮してSPEEDI システムでは、放出源情報を次の4タイプ（情報モードと呼ぶ）に分けて入力が行えるようになっている。

- ① 希ガスまたはヨウ素の全放出率 (Ci /hr) を入力する。詳細な同位体組成のデータが入手されていない場合に用いる。
- ② 希ガスまたはヨウ素のある特定の卓越核種の放出率を入力する。モニタリングなどによって卓越核種のデータのみが入手されている場合に用いる。
- ③ 希ガスまたはヨウ素の核種すべてについて放出率を入力する。詳細な同位体組成のデータが入手された場合に用いる。
- ④ 希ガスまたはヨウ素以外の核分裂生成核種の放出率を入力する。SPEEDI が対象としているのは34核種である。

ここで、①と②のタイプでは希ガスまたはヨウ素の各核種の放出率の推定をSPEEDIで行っている。SPEEDI では次の条件を仮定として放出率の推定に用いている。

- ① 原子炉停止時の炉内での核種の相対割合がそのまま環境中に放出されるとする。ただし、放射性崩壊による減衰は別に考慮する。すなわち、希ガスは15核種、ヨウ素は7核種について、原子炉停止時の炉内の同位体組成比が崩壊以外によって変わらないで、環境中でも維持されるものとする。
- ② 原子炉停止時の炉内の核種組成は、軽水炉の炉型 (BWR, PWR) および燃焼度ごとに燃焼計算で求めたものを用いる。

①の仮定は、希ガスまたはヨウ素のうち、ある特定の核種が炉内で選択的に分離されることはない、すなわち同位体効果は考慮する必要はないことを述べたものである。この仮定によって推定値が大きく異なるというエラーを起こすことはないと考えてよい。しかし②の仮定では、炉心平均燃焼度で定格運転後の原子炉がスクラムして出力をゼロに落した場合の核種組成**を対象としており、実際には炉の出力が事故の前には過渡的に変化することが充分起こりうる。この場合、短半減期の核種の割合は急激に減少するので、SPEEDI の計算に従うと短半減期核種の希ガスやヨウ素を過大評価し、逆に長半減期核種のそれらを過小評価することになる。しかし、原子炉停止時から環境中に放出されるまでの時間が長いほど短半減期核種の減衰によって②の仮定によるエラーは小さくなると考えてよい。たとえば、原子炉停止から放出までの時間が10時間とすると、希ガスでKr-83m, Kr-87, Kr-89, Kr-90, Xe-137,

* 放出量と放出継続時間が入手された場合には、一定な連続放出を仮定して放出率を決める。放出率の時間変化が放出源情報として入手されたときにはCONC コマンドから再計算を行う。

** SPEEDI コード システムが用いている核種組成データは原研安解部核燃料施設安全解析室から提供されたものである。

Xe-138, Xe-139, ヨウ素でI-134, I-136の短半減期核種は1%以下の割合となる。したがって、原子炉停止から放出までの時間によっては原子炉出力の過渡変化に対応した核種組成の推定を行う必要がある。

以上のことから明らかなように、放出源情報としての希ガスまたはヨウ素の同位体組成の推定は、あくまでも詳細な情報が入るまでの暫定値としてSPEEDIは取り扱っており、それを念頭に結果を解釈すべきである。

3.3.2 核種放出率の推定

①のタイプでは次の式に従って、原子炉停止時に補正した放出率を推定する。

$$Q' = Q / \left(\sum_i f_i e^{-\lambda_i t_0} \right) \quad (3.3.1)$$

$$Q_i = Q' \cdot f_i \quad (3.3.2)$$

ただし、 Q ; 希ガスまたはヨウ素の全放出率
 Q' ; 希ガスまたはヨウ素の原子炉停止時に補正した全放出率
 f_i ; 原子炉停止時の希ガスまたはヨウ素の核種*i*の組成率
 λ_i ; 希ガスまたはヨウ素の核種*i*の崩壊定数
 t_0 ; 原子炉停止時から放出率*Q*を測定した時刻までの時間
 Q_i ; 原子炉停止時に補正した希ガスまたはヨウ素の核種*i*の放出率

②のタイプの場合には次の式に従う。

$$Q'_k = Q_k / e^{-\lambda_k \cdot t_0} \quad (3.3.3)$$

$$Q_i = Q'_k (f_i / f_k) \quad (3.3.4)$$

ただし、 λ_k ; 希ガスまたはヨウ素の卓越核種*k*の崩壊定数
 Q'_k ; 希ガスまたはヨウ素の卓越核種*k*の原子炉停止時に補正した放出率
 f_k ; 原子炉停止時の希ガスまたはヨウ素の卓越核種*k*の組成率
 Q_k ; 希ガスまたはヨウ素の卓越核種*k*の放出率

上式の*Q*および*Q_k*はSPEEDIでユーザーがRELコマンドで入力するパラメータである。また*t₀*は、原子炉停止時核と放出率測定時刻から決定される。原子炉停止時の希ガスまたはヨウ素の核種組成は、炉型と燃焼度に応じた値として核種組成ファイルに保有されている。崩壊定数は核種データ・ファイルとしてシステムが保有している。

次に燃焼度の評価方法について述べておく。放出源情報としての核種放出率を決定するためには、原子炉停止時の希ガスまたはヨウ素の核種組成率を炉型と燃焼度を入力パラメータとして決めなければならない。炉型については、システムが保有するサイト情報ファイルに記憶されており、計算対象とするサイトをSITEコマンドで指定することで決められるのでユーザーは考慮する必要はない。燃焼度は、事故の起こった発電所から直接入手することができればそれを利用するのが最も望ましい。しかし、入手できない場合には次の式により簡便に推定する

こともできる。

定検時から事故までの炉心平均燃焼度 $\Delta E = P \cdot t / w$
 事故時の炉心平均燃焼度

$$E = \sum_{i=1}^3 N_i (E_i + \Delta E) / \sum_{i=1}^3 N_i \quad (3.3.4)$$

ここで、 P ; 平均出力 (MW)
 t ; 定検から事故までの運転時間 (day)
 w ; 炉心ウラン装荷量 (ton)
 E_i ; 定検時の燃料体 i の燃焼度 (MWD / ton)
 N_i ; 燃料体 i の燃料集合体の本数

3.4 その他のモデル

3.2 節までに述べたモデルの他に、気象研究所が中心となり、統計的手法を用いた気象予測計算モデルと力学的数値予測モデルの開発が行なわれている。前者は、過去の観測データから、対象とする地域の風の吹き方を決定する固有関数をあらかじめ求めておき、この固有関数の係数の時系列を時間外挿する事により、数時間先までの風向、風速を予測する計算コードである。このコードはまた、観測値の異常値検定を行なう機能を持つ。本コードの出力を WIND 04 の入力とする事により、数時間先までの風速場予測が可能となる。後者は、観測データを初期値として、大気の運動を支配する方程式系を時間積分する事により気象予測、濃度分布予測を行なう為の計算コードである。

前者のコードは近い将来 SPEED I に組み込まれる予定となっている。後のコードの SPEED I への組み込み時期については現在のところ未定である。

4 運用経験

緊急時の全体計画には、予測計算コードの開発に資するために、システム開発と別に、野外拡散実験と風洞実験が含まれており、野外実験は、昭和55年から6ヶ年計画で進められている。我々は、SPEEDIの実時間運用試験を行うため、昭和58年8月の茨城県東海村における野外実験のラン2, 5, 6にあわせてリアルタイム・シミュレーションを実施した。野外実験配置の概略をFig. 4.1 に示す。トレーサ・ガスはSF₆を用い、東海村の海岸に設置した高度120mの係留気球から1ラン90分間放出した。ラン5, 6は、連続で実施され合計180分間放出した。地上サンプリング・ネットは陸側に半径1, 2, 3, 4, 5, 10, 15kmの同心円上に、5度間隔で設置し、その他に、風向に応じて可搬型の係留気球による鉛直濃度サンプリングも実施した。サンプリングは、放出開始60分後から30分間行っており、ラン5, 6では、放出開始60分後からと150分後からの2回、30分間サンプリングを行った。気象データは、鉛直及び地上風向・風速、気温の鉛直分布、風向、風速変動等が観測されている。実験地域は、関東平野北部の比較的平坦な場所であるが、海岸付近であり、地形の影響は少ないものの、沿岸特有の内部境界層がしやすい環境である。

システムの運用例をラン5, 6のシミュレーションについて述べる。Table 4.1 にSPEEDI運用と実験の時間経過の様子を示す。システムは放出開始10分前から起動し、放出までに地域データ、放出開始時刻、放出率のデータ設定を終了した。計算は毎正時の気象データを入手しデータ・プールを作成した後、詳細計算コードのWIND04とPRWDAを用いて1時間の平均濃度分布と、1時間後の粒子分布を計算した。この計算を3時間分繰り返すことにより、13時までの毎時間の平均濃度分布を求めた。この試験で一番問題となった事は気象データの迅速な入手と気象データプールの作成である。この部分は本コード・システムでまだ未完成の部分であり、今回は、茨城県公害技術センターでオンラインで収集されている東海村周辺30点の風向・風速データと、原研構内に設置した音波ドップラー・レーダーによる風向、風速、風向変動の鉛直データを電話連絡により入手し、マニュアル入力でデータプールを作成した。内部境界層のデータは、ドップラー・レーダの風向変動データをもとに米国方式²¹⁾で上層の大気安定度を求め会話形式で入力した。気象データの連絡をうけ毎正時の気象データプールを作成するために約20分間を要し、さらに詳細計算コードによる1時間分の予測計算の実行終了までにコマンド処理、図形出力も含めて約25分を要している。これは、計算機がタイム・シェアリングで運用されているためであり、SPEEDIの処理のために独占的にCPUが割り当てられた場合計算処理、出力は10分以内に終了する。

SPEEDIの出力は、気象観測結果の出力から順に、実験担当者に手渡され、ラン5の計算結果は連続して行われたラン6のサンプリング計画のための基礎資料として利用された。この時の風速場計算と濃度分布計算結果をFig. 4.2及びFig. 4.3に示す。ここでは、移動式サンブラへの情報を与えやすいように道路と地名を下図として選択した。なお濃度分布図の単位は、図ではCi/m³と表示されているがSF₆は非放射性であり単位はppt(×10⁻¹²m³/m³)

である。

実験結果は現在解析が進められており、本シミュレーションと実測との比較及び検討はまだ行われていない。

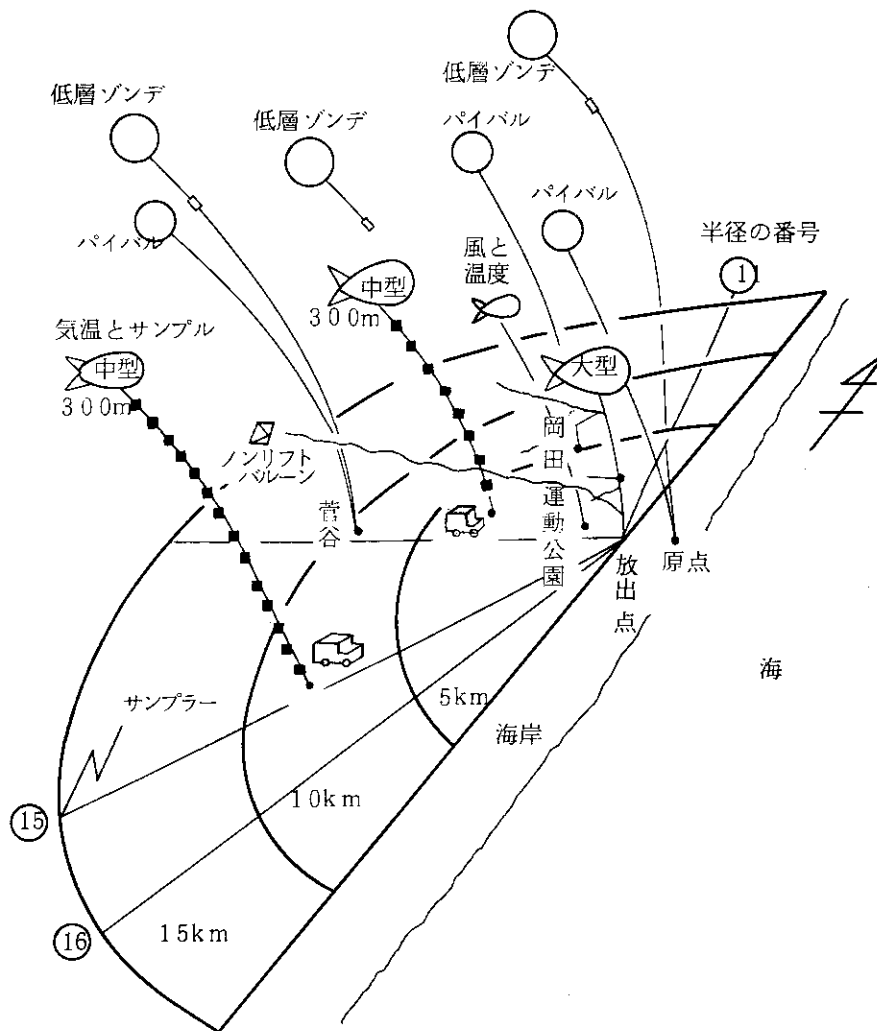


Fig. 4.1 大気拡散実験の模式図 (昭和58年実験)

Fig. 4.1 The outline of field experiment. (FY 1983)

表 4.1 SPEEDI による野外実験実時間シミュレーションの
時間経過

Table 4.1 Progress with time of real-time simulation of field
experiment * by SPEEDI.

| 時刻 | 気象D・P・作成 | SPEEDI | JOB | 拡散実験 |
|-------|----------|------------------|--------------------------------|---------------------|
| 10:00 | | システム起動 (9:50) | | 放出開始 |
| | 10:05 | 初期データ設定 | | |
| | 10:19 | | | |
| | | 観測風出力 (10:30) | 10:27 WIND 04 | |
| | | 風速場出力 (10:45) | 10:38 PRWDA 10:40 PRWDA | |
| 11:00 | | 濃度出力 (10:59) | 10:51 PRWDA | |
| | 11:05 | | | |
| | 11:06 | 観測風出力 (11:20) | 11:17 WIND 04 | 第1回 サンプリング |
| | | 風速場出力 (11:35) | 11:25 PRWDA 11:30 PRWDA | 11:30 |
| | | 濃度出力 (11:52) | 11:47 PRWDA | |
| 12:00 | | | | |
| | 12:11 | 観測風出力 (12:20) | 12:22 WIND 04 12:26 WIND 04 | |
| | 12:15 | 濃度出力 (12:41) | 12:30 PRWDA 12:36 PRWDA | 12:30 第2回 サンプリング |
| 13:00 | | | | 放出終了 |

* Performed in FY 1983.

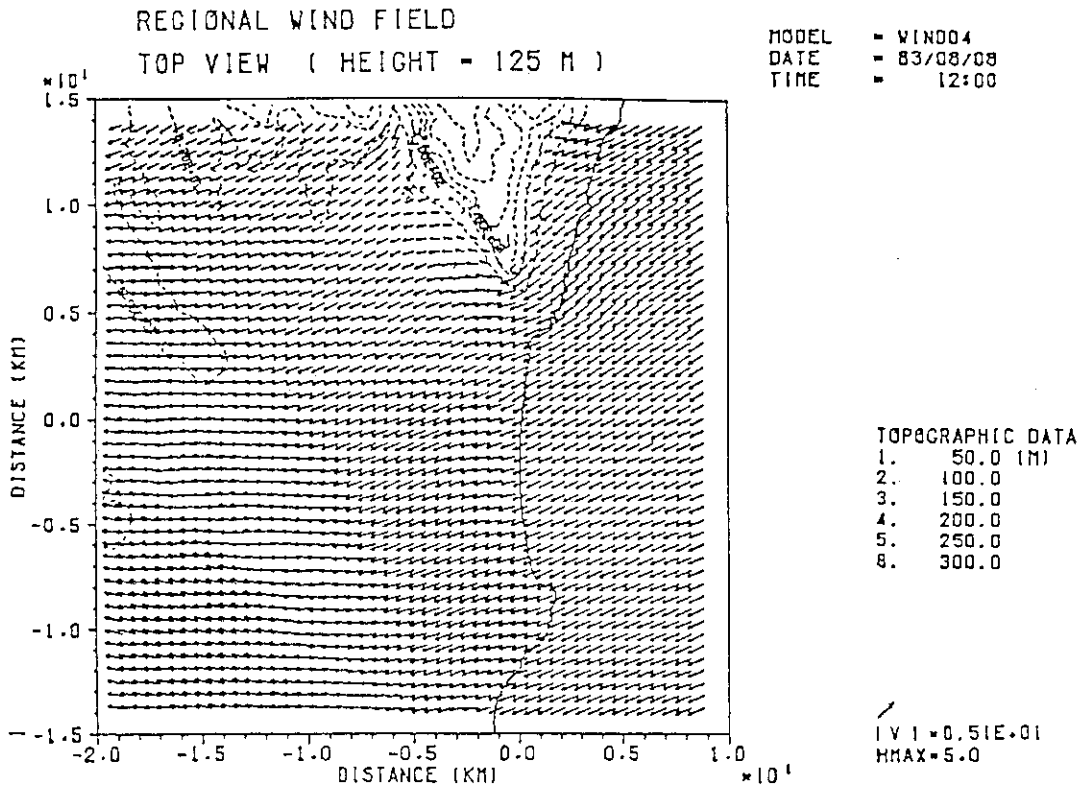


図 4.2 実時間シミュレーションにより得られた風速場
Fig. 4.2 Wind field calculated by a real-time simulation.

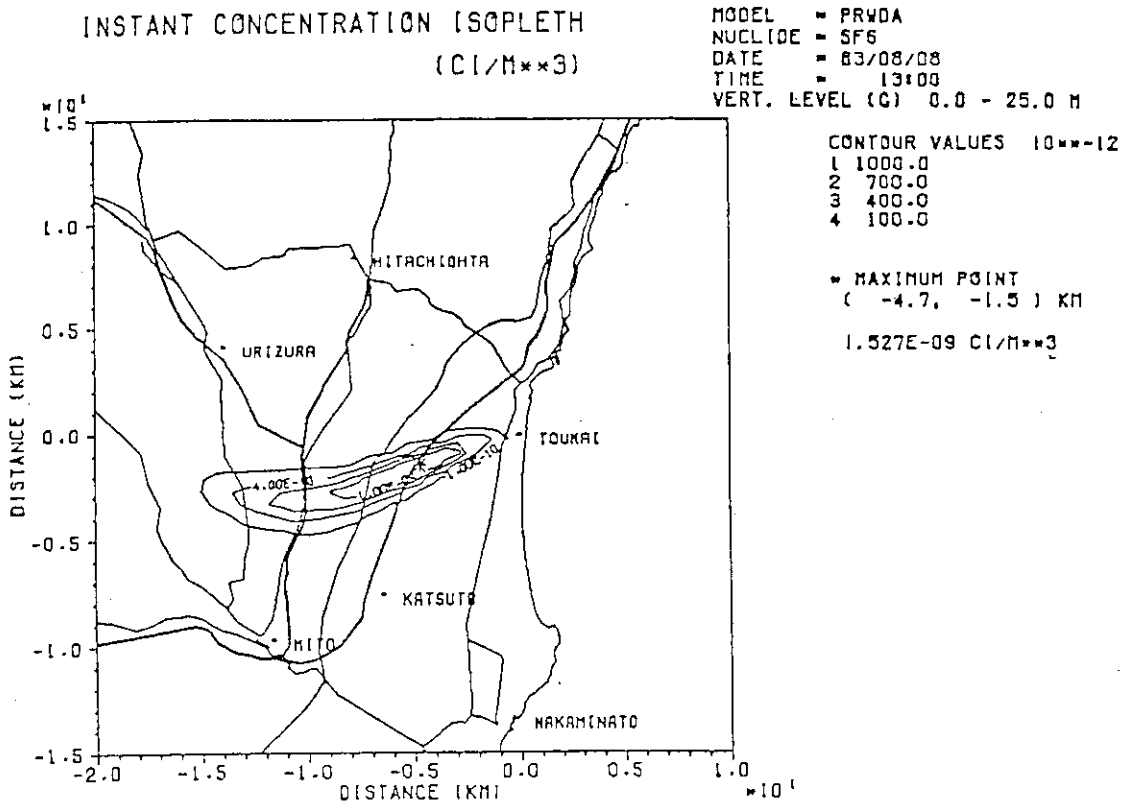


図 4.3 実時間シミュレーションにより得られたラン 6 の地上濃度分布
Fig. 4.3 Air concentration distribution at the ground level calculated by real-time simulation.

5 今後の改良

5.1 計算モデルの改良

基本的な改良として、詳細計算モデルで用いる座標系を従来の直交座標系から、地表面の形に準拠した曲線座標系に変更する方針である。現在の詳細計算モデルでは、Fig. 4.3.1(a)に示したように、実際の地形を直方体のブロックの積み重ねで表現している。しかしこの方法では、急峻な地形を十分表現できない事、計算領域内の標高差が大きい時に、鉛直分解能を落とさなくてはならない等の不利な点がある。一方Fig. 5.1.1(b)に示したような座標系を用いる事により、地形をより忠実に再現した計算を行なう事が可能となる。新しい座標系の採用に伴ない、WIND 0.4, PRWDA, CIDE 等の一連の詳細計算モデルの改良、あるいはこれらに代わる計算コードの作成が必要となるであろう。

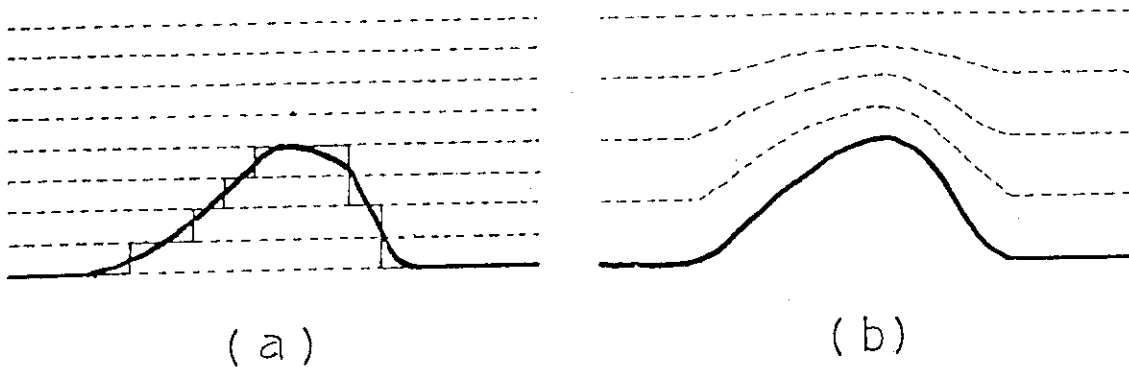


図 5.1.1 直交座標系(a)と地表面に準拠した座標系(b)

Fig. 5.1 Cartesian coordinates (a) and the terrain following coordinates (b).

5.2 オンライン気象データ自動収集

SPEEDI では気象データ源として、サイト内気象観測データ、気象庁の A Me DAS (Automated Meteorological Data Acquisition System, 地域気象観測システム), それに各自治体で行なわれている気象観測のデータを想定している。気象データプール作成用ルーチンとして、テスト用気象データプール作成機能 (WCRAT) と気象データプール創生更新機能 (WEADUS) が既に開発されている。前者は気象庁のアメダス・データを収めた磁気テープと、茨城県の環境データを記録した磁気テープを読み、気象データプールを作成する機能であり、SPEEDI 開発に伴うテスト計算に使う事を目的に作成された物である。一方WEADUS は、キャラクター端末より気象データの入力を行ない気象データプールを作成する機能を持つ。現在の体制でSPEEDI を運用する為には、観測者 (気象庁、自治体等) より、電話連絡などに依り気象観測データを受け、WEADUS を用いて気象データプールを作成する事になる。運用試験 (4章) で述べたようにこの作業に費す時間はかなりの比率を示し、緊急時に対応する際に迅速性を欠く大きな要因となる。このため、SPEEDI の実用化にあたっては、人手を介さずに気象データを収集する方法を確立する必要がある。Fig. 5.2.1 に気象データ自動集収の概念を示した。ミニコンピュータ等を用いてあらかじめ定められたスケジュールに従い、各種ステーションより気象データを収集する。通信手段としては、通常の電話回線を使用し、必要に応じて観測局をミニコンで呼出し、自動的にデータを収集する方法が現実的であると考えられる。

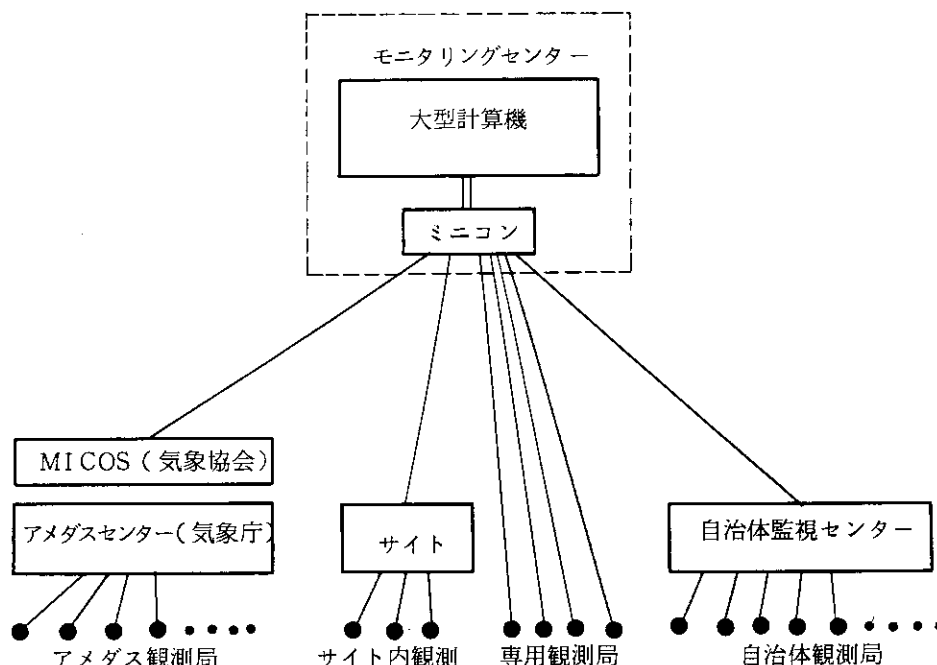


図 5.2.1 気象データ自動収集機能の概念

Fig. 5.2.1 A concept of automated meteorological data acquisition.

5.3 ミニコンへの適用

SPEEDI コード・システムのミニコンへの適用について検討するため、まず、SPEEDI を構成する計算コード、支援ソフトウェア、及び支援ライブラリについて、ソース・プログラムの各種情報や翻訳、結合編集、実行時の各種システム資源使用情報の収集にあたった。特に、SPEEDI が使用するCPU時間、メモリ量、I/O回数やソース・プログラムの枚数についてまとめたものは付録A Table A. 1～A. 4のとおりである。

つぎに、SPEEDI を大型計算機からミニコンへ移植するときに、ミニコンのもつ機能に依存して問題となりやすい部分について調査した。すなわち、SPEEDI の中核となっている会話型コマンド・システムの中で用いられているアセンブラで書かれたルーチンや会話型プログラミング機能のソフトウェアIPF (Interactive Programming Facility)等のシステム・ルーチン、図形処理関連の各種ソフトウェア、計算コードのサブミット用ジョブ制御言語 (Job Control language)、及び計算コードで用いられている支援入出力ファイルとしての各種データプールとそのソフトウェアについて調査した。

さらに、SPEEDI 関連の各種ファイルの編成法と容量の調査、及び発表されている各社のミニコンや巨大ミニコンの調査を行った。

これらの調査の結果、SPEEDI をミニコンで実行するために必要なミニコンのもつべき主な条件は以下のようなものであることがわかった。

1) ミニコンの規模

SPEEDI の簡易計算では、付録 Table A. 1～A. 4 からわかるとおり、計算から図形出力までに要するCPU時間は、大型計算機M-380 で20～30秒である。簡易計算はミニコンで10分程度で実行できるのが望ましいとすると、M-380の演算性能は25MIPS (Million Instructions Per Second) であるから、そのためには1MIPS以上の演算性能が必要となる。

また、簡易計算では付録A Table A. 2からメモリ量2MB (Mega Byte)を使用する。緊急時における即答能力の必要性を考慮するとユーザ領域として主記憶量は2MB以上あることが望ましい。

以上から、SPEEDI を実行するミニコンとしては、1MIPS 以上の演算性能と2MB以上の主記憶量をもつ巨大ミニコンが適当であると考えられる。

2) 大型計算機との互換性

SPEEDI は大型計算機で絶えず改良が加えられている。SPEEDI をミニコンで実行するために改良のたびに交換するのは手間がかかりすぎる。したがって、大型計算機との互換性のあるミニコンが望ましい。

ちなみに、SPEEDI を大型計算機と互換性のないミニコンへ移植するとして、その手間を推定すると、

$$L/m = 148,807 / 3,600 \doteq 41.3 \text{人月} \quad , \quad (5.3.1)$$

となる。ここで、 l は、Table A.1~A.4 から求めたSPEEDI の全ソース・ステートメント数で148,807 であり（ただし、詳細計算コード、DPTSS ソフトウェア、PTSライブラリの分は除く）、 m は、CDC 計算機版原子力コードをFACOM版に変換する際の生産性で、原研の経験では3,600 ステートメント/人月である。

ミニコンが大型計算機との互換性を保つためには、ハードウェア的には、32ビットの語長、EBCDIC 内部表現、データ、命令、番地形式の互換が必要である。また、ソフトウェア的には、FORTRAN言語の互換、ロード・モジュールの互換、FORTRANライブラリの互換、IPFの互換、及びJCLの互換（またはJCL変換機能）などが必要となる。

3) 磁気ディスク容量

SPEEDI 関連ファイルの磁気ディスク容量は、プログラム、データを含めて50MB程度である。これに加えて、SPEEDI による計算結果の保存、再利用、及び実行時作業用として磁気ディスクの利用も考慮すると、100MB程度の容量があることが望ましい。

4) オペレーティング・システムの機能

ミニコンによってSPEEDI の実行、プログラムの開発整備、及びオンライン気象データの収集を行うとすると、ミニコンは会話型処理、バッチ処理、及びリアルタイム処理の多重並行処理が可能なオペレーティング・システムをもつ必要がある。

5) 図形処理機能

SPEEDI による計算結果のカラー・グラフィック表示や図形出力のために、カラー・グラフィック端末や日本語ラインプリンタが必要である。また、これらの図形処理装置と既存の図形処理ライブラリとのインターフェイスを司る基本的な図形処理パッケージも必要となる。

6) プログラム開発機能

SPEEDI の日本語メニュー方式による実行制御やプログラムの開発整備に用いるために、キャラクタ・ディスプレイ端末（日本語）が必要である。また、SPEEDI はFORTRAN77で記述されているので、FORTRAN77が必要である。さらに、会話型プログラミング機能IPF や会話型プログラム開発支援機能PFD (Programming Facility for Display users) も必要である。IPFはSPEEDI の会話型コマンド・システムでのTSSコマンドの呼出しと日本語メニュー方式の入力制御のために用いる。PFDはフル・スクリーンとメニュー方式によって操作性と開発効率がよいので、プログラムの開発整備のために用いる。

7) 大型計算機利用機能

SPEEDI の詳細計算はTable A.2 に示すように時間がかかりミニコンでは無理である。この詳細計算をミニコンの端末から大型計算機のTSSを利用して行うために、DSC (Data Stream Compatibility) 機能が必要である。

5.4 メニュー方式入力の採用

風速場、濃度、線量、および計算結果表示等の各モードで使用するパラメータの入力は、第2章2.2節、第3章の各節の例からわかるように、かなり簡略化されている。しかし、このSPEEDIシステムを原研施設の環境放射線管理に適用しようとして検討している現場からは、これらの入力方法を簡略化し、さらに日本語による表示と入力指定を可能にして欲しいという要望が出されている。そこで現在の入力方法に加えて日本文メニューによるワンタッチ入力方式を採用することにした。この機能は昭和59年7月末に完成予定となっている。英文メニューによる同じ方式の入力方法も同時期に完成を予定している。この入力方式を採用したときの入力指定画面は、風速場入力を例にとるとFig. 5.4.1のようになる。××・・・×, 99・・・9にはそれぞれ予めセットされた英数字、または数字が入っている。それらを変更すれば、変更後の値が入力と見なされる。この画面から従来の入力方式へ移り、さらに詳細なデータを入力することもでき、また逆に従来の入力画面からこのメニュー方式入力画面へ移ることも可能である。

風速場画面

| 風速場情報入力 | |
|-------------------------------|------------------------------------|
| (1) モデル名 : ×××××××× | (英数字8文字以内, 例 WIND04) |
| (2) 領 域 : × | (英字1文字, 狭域ならL, 広域ならRを入力) |
| (3) 大気安定度 : × | (英字1文字, A, B, C, D, E, F, G のいずれか) |
| (4) 気象データプール名 : ×...× | (ファイル名, 例 J9999. WET. DATA) |
| (5) 風速場データプール名 : ×...× | (ファイル名, 例 J9999. WIND. DATA) |
| 以下の情報は時刻画面と同一のものを使う場合は入力不要です。 | |
| (6) 予測開始年月日 : 999999 | |
| (7) 予測開始時分秒 : 999999 | (時刻画面と) |
| (8) 予測時間 : 999999 | (同じコメント) |
| (9) ダンプ間隔 : 999999 | |
| 本画面の操作 : 9 | |
| 次の画面 : 9 | |
| 起動サイト 時刻 濃度・・・ | |

図 5.4.1 メニュー形式でデータ入力を行う場合のシステムからの表示 (風速場モードの場合)

Fig. 5.4.1 Display from a system to input data by a menu type. (ex. WIND mode)

6 おわりに

SPEEDI コード・システムに最も期待される点は、環境広域にわたる気象、放射能、放射線に関する防災対策上有用な諸情報を物理的整合性をもって迅速に計算し、事故発生初期の防災対策発動に際し有力な判断材料として提供する事である。この観点からSPEEDI の設計・開発が進められ、実用システムとしての諸機能を備えた第3版の完成に到った。システム設計における基本思想は、各種モデルを相互矛盾なく運用し、かつモデルの選択、追加、交換、メンテナンスが容易な事である。この為、1つの制御部で各々のコードを運用するモジュラー・コード・システム構成とした。また実用化を念頭に置いた諸機能として、事前に保有できるデータを内蔵し必要に応じて使用できるデータプール機能、会話型制御方式による計算管理、識別能を高め情報の明瞭化をはかる為のカラー・グラフィック機能等を採用し、使いやすいシステムを目指し一貫した思想のもとに開発されている。

当コードシステムによる計算予測結果が環境線量評価に、また防災対策上の諸施策に有効に活用されるためには、現況解析結果や予測計算結果が、必要な時間内に、期待される精度で、判断材料として有用な形式で得られる事が要求される。これらの要件がどの程度満たされるかが、システムの完成度の指標となる。本報で示したシステムの範囲については各物理モデルとも可能な範囲で解析解との比較、大気拡散実験との比較による検証を行ない、簡易計算コード群、詳細計算コード群ともその適用範囲を逸脱しない範囲で十分な適用性がある事が示されている。また運用試験を行ない実用性についての検討も進んでいる。

簡易計算モデルに属するガウス・ブルーム・モデル、パフ・モデル等は当コードシステム内では、迅速性の要求に応える為に準備されているものである。これらの計算モデルは、本来地表障害物のない平坦様な地面上での適用を基本とするものであり、現実の複雑な地形上の濃度、線量の分布状況をも精度よく表現するものではない。例えばガウス・ブルーム・モデルについては、平坦様な地面上での有効性については従来より報告があり、理想条件での信頼性が確認されているが、日本の大部分の原子力施設が存在する沿岸域での適用については不適當である。特に沿岸特有のフューミゲーション（いぶし現象）が出現する場合等は、特別な扱いをしない時、過少評価となる場合がある。また地形による強制によりブルームの主軸が曲がる場合などにも精度が落ちる。これらの事は、東海研究所周辺で実施されている大気拡散実験の解析結果²⁰⁾でも認められる。パフ・モデル、セグメント・モデルについてもほぼ同様な事が言えるが、これらのモデルでは簡単な2次元内挿により計算された風速場を用いて物質の移流が計算される点が一步進んでいる。ここで用いる2次元の風速場内挿モデルは、高さ方向の違いのある気象データが考慮されない事、地形が考慮されない事などの点で単純化されたもので、その適用限界については個々のサイトについて様々な気象条件のもとでの検討を要する。

以上述べたように簡易モデルの適用範囲は原子力施設が置かれている複雑な地形環境では距離的にもまた時間的にもかなり限定されてはくるが、これらのモデルの本来の目的である事故初期の防災対策上緊急に必要な判断資料の提供という点から見れば十分に存在価値がありかつ

効果的な役割りをはたし得るものである。

一方、詳細計算モデルに要求される性能は、複雑な地形、気象条件のもとでも、十分な精度の評価が行なえるということである。この要求が満たされる保証なくしては詳細計算を実施する意味がない。詳細計算モデルでは評価の対象とする空間を多くのセルに分割し、各セル毎の風向・風速を3次的に求める。この風速場データを入力として、拡散モデルは放射性物質の空間濃度分布を時間を追って計算する。さらに線量計算モデルが濃度分布データを用いて、必要とされる線量分布を計算する。これら一連の詳細計算モデルは全て地形を考慮できる3次元モデルであり、計画的に時間を追って運用する事により、複雑な地形上での非定常な大気拡散の結果生じる濃度分布、線量分布を精度よく計算できる。この点で、現在の種々の濃度計算モデル、線量計算モデルの中で最も柔軟かつ合理性のある方法と言えよう。

詳細計算コード群の性能評価は、55年度より東海村周辺で行なわれてきた一連の大気拡散実験の結果を例にとり進めて来た。この結果すでに本文で述べたように、簡易モデルでは表現できないような複雑な気象条件下でも、詳細計算コード群を用いる事により、合理的な評価が可能である事が明らかになった。

しかし精度の向上の反面、簡易計算コードと比べて計算機の記憶容量の増大、計算ステップの増加が生じ、その結果使用する計算機の大型化、計算時間の増加が必然となる。SPEEDIコード・システムの開発に使用されている計算機はFACOM-M380であり、この計算機を用いた場合の計算所要時間は、実行時間で10分以内である。従って気象データの入力間隔が1時間である現状では十分な時間的余裕がある。計算時間短縮の為にはベクトル計算機の使用も可能であり、その適用の検討もすでに行なわれているが、現在の関心事はむしろシステムの軽量化である。将来の実用化を念頭に、より小型の高性能機、いわゆるスーパーミニコンへのシステムへの移植の検討が進められており、詳細計算についても必要な要件を満たしたまま小型機へ移行できる見込みである。

以上のように、現時点でみてSPEEDIは原子力施設の事故時の環境線量評価に十分対応できるものと結論できる。今後に残された課題としては、広域かつ複雑な地形上での風速場モデルの検証、地形との関係からみた気象観測密度の感度解析とこれに基づく観測ネットの最適配置の検討、気象データのオンライン自動収集機能の作成、各原子力サイトの個有特性の調査とモデルの適応性の検討等々、実用までに明らかにされねばならない問題がある。

また本コード・システムでは第3.3章に述べられているように漸定的にはあるが放出源情報のうち核種組成比を推定する機能を有しているが、基本的には放射性物質の放出量その他の放出条件は原子炉側と環境モニタリングから与えられることを前提にしている。したがって、信頼性の高い放出源情報が予測され与えられれば、本コード・システムは防災対策実施のために極めて有用な情報を提供する事ができる。換言すれば、放出源情報が信頼できるものでなければ本コード・システムの機能は低下してしまう。この意味から、今後放出源情報の予測技術が早急に開発される事を強く期待するものである。

なお、最後に一言つけ加えるならば、本コード・システムは与えられた入力情報をもとに、あくまでもモデルによる計算を行なうもので、現実のモニタリング、緊急時サーベイを不要とするものではないことは言うまでもない。測定結果と計算結果の間には、測定と計算の間の物

理的諸条件の相違、計算入力の不正確さ等に起因する不一致が生ずる事が予想されるが、特に航空機による γ 線迅速サーベイ、大気中放射能の迅速サーベイと本コード・システムとの協力活動により、互いの欠点を相補なう効率的な緊急時対応体制がとれるものと確信する。

なお、この報告ではSPEEDIの概要を紹介するのみに留めた。SPEEDIコード・システムに関する総合報告、使用手引書は別に用意する。

謝 辞

本報告で述べたモジュラー・コード・システムの作成は、環境放射能研究委員会モニタリング予測専門部会（浜田部会長）のもとにあるシステムW.G.の作業の一環として行われており、この会合は、コード作成、システム作成の担当者が集まり不定期に開かれている。会合のメンバーを欄外に記す。

本システムの作成にあたっては、各方面の方々から協力を得た。地域データ・プール作成には国土庁の国土数値情報を用いたが、使用にあたり国土庁国土情報整備室の協力を得た。拡散実験シミュレーションに用いた気象データの一部は、茨城県公害課と原子力安全対策課の御厚意で借用することができた。ここに上記の関係者の方々に深く感謝の意を表します。

本システムの核種ファイルに利用している原子炉燃焼度と生成核種に関するデータ、図形表示ソフトウェアに利用したARGUS-V4、データ・ファイルに用いたデータプール・システムは、本研究と別に原研内で開発されたものであり、作成者の御厚意により利用させていただいた。御協力下さった安全解析部核燃料施設安全解析室（核種データ・ファイル）、核融合理論解析研究室（ARGUS-V4）及び計算センタ（データプール）の関係者の皆様に感謝致します。

また、本コード・システムの作成にコード総合化専門部会（桂木部会長）のモジュラー・コード・システム作成に関する議論の蓄積が基礎となっていること、また本システム作成に関しても多大な援助があったことを記し、ここに感謝致します。

最後に、本システムのミニコン移植の調査の相当部分は原子力データセンターの米倉徹氏によっておこなわれ、また、システムの会話形制御部及び図形表示ルーチン等のプログラミングは富士通FIPの山本和明、山口浩氏をはじめとする諸氏によっておこなわれたことを記し、深く感謝致します。

システムW.G.構成員

吉川友章、荒川正一（昭57まで）、木村富士男、小出 孝（以上気象研）、
佐藤 貞（安全解析所）、今井和彦、森内 茂、石川裕彦、甲斐倫明、浅井 清、
中村康弘、篠沢尚久、飯島敏哲、本間俊充、日高昭秀、茅野政道（以上原研）

理的諸条件の相違、計算入力の不正確さ等に起因する不一致が生ずる事が予想されるが、特に航空機による γ 線迅速サーベイ、大気中放射能の迅速サーベイと本コード・システムとの協力活動により、互いの欠点を相補なう効率的な緊急時対応体制がとれるものと確信する。

なお、この報告ではSPEEDIの概要を紹介するのみに留めた。SPEEDIコード・システムに関する総合報告、使用手引書は別に用意する。

謝 辞

本報告で述べたモジュラー・コード・システムの作成は、環境放射能研究委員会モニタリング予測専門部会（浜田部会長）のもとにあるシステムW.G.の作業の一環として行われており、この会合は、コード作成、システム作成の担当者が集まり不定期に開かれている。会合のメンバーを欄外に記す。

本システムの作成にあたっては、各方面の方々から協力を得た。地域データ・プール作成には国土庁の国土数値情報を用いたが、使用にあたり国土庁国土情報整備室の協力を得た。拡散実験シミュレーションに用いた気象データの一部は、茨城県公害課と原子力安全対策課の御厚意で借用することができた。ここに上記の関係者の方々に深く感謝の意を表します。

本システムの核種ファイルに利用している原子炉燃焼度と生成核種に関するデータ、図形表示ソフトウェアに利用したARGUS-V4、データ・ファイルに用いたデータプール・システムは、本研究と別に原研内で開発されたものであり、作成者の御厚意により利用させていただいた。御協力下さった安全解析部核燃料施設安全解析室（核種データ・ファイル）、核融合理論解析研究室（ARGUS-V4）及び計算センタ（データプール）の関係者の皆様に感謝致します。

また、本コード・システムの作成にコード総合化専門部会（桂木部会長）のモジュラー・コード・システム作成に関する議論の蓄積が基礎となっていること、また本システム作成に関しても多大な援助があったことを記し、ここに感謝致します。

最後に、本システムのミニコン移植の調査の相当部分は原子力データセンターの米倉徹氏によっておこなわれ、また、システムの会話形制御部及び図形表示ルーチン等のプログラミングは富士通FIPの山本和明、山口浩氏をはじめとする諸氏によっておこなわれたことを記し、深く感謝致します。

システムW.G.構成員

吉川友章、荒川正一（昭57まで）、木村富士男、小出 孝（以上気象研）、
佐藤 貞（安全解析所）、今井和彦、森内 茂、石川裕彦、甲斐倫明、浅井 清、
中村康弘、篠沢尚久、飯島敏哲、本間俊充、日高昭秀、茅野政道（以上原研）

参 考 文 献

- 1) 原子力安全委員会環境放射能安全研究専門部会：環境放射能安全研究年次計画（昭和56年度～昭和60年度），昭和55年6月。
- 2) 今井和彦編：日本原子力研究所における緊急時関連の環境安全研究，保健物理，18，259～267（1983）
- 3) M.H. Dickerson & R. C. Orphan：Atmospheric Release Advisory Capability，Nucl. Safety，17，281～289（1976）
- 4) J.B. Knox et al.：Program report for FY 1982 Atmospheric and Geophysical Sciences Division of the Physics Department，UCRL-51444-82（1983）
- 5) L. C. Rosen & B. S. Lawber：Evacuation emergency response model coupling Atmospheric Release Advisory Capability output，UCRL-53287（1983）
- 6) C. A. Sherman：A mass-consistent model for wind fields over complex terrain，J. Appl. Meteor.，17，p312～319（1978）
- 7) Y. Sasaki：An objective analysis based on the variational method，J. Meteor. Soc. Japan，38，77～88（1958）
- 8) R. Lange：ADPIC—a three dimensional particle-in-cell model for the disposal of atmospheric pollutants and its comparison to regional tracer studies，J. Appl. Meteor.，17，320～329（1978）
- 9) P. Gudiksen et al.：Joint research and development on toxic material emergency response between ENEA and LLNL：1982 progress report，UCRL-53345（1982）
- 10) Wendell，L. L.：Mesoscale wind fields and transport estimates determined from network of wind towers，Mont. Wea. Rev.，100，565～578，（1972）
- 11) Smith, F. B. and J. S. Hay：The expansion of clusters of particles in the atmosphere，Quart. J. R. Met. Soc.，87，82～101，（1961）
- 12) Iijima, T. and A. Hidaka：AIRGAMMA；A computer code for quick assessment of the cloudshine dose due to accidental releases of radioactive materials（to be published as JAERI-M Report）
- 13) Chabot, G. E. et al.：Health Phys.，21，471～474（1971）

- 14) Radiological Health Handbook, U. S. Department of Health, Education and Welfare (1976)
- 15) Meade, P. J. : The effects of meteorological factors on the dispersion of airborne material, Rassegna Internazionale Elcttronica e Nucleare, 6 Rassegna Roma 1959, Vol. 1 107~130 (1959)
- 16) 石川裕彦, 変分法を応用した3次元風速場計算 (WIND04), JAERI-M 83-113 (1983)
- 17) 茅野政道, 石川裕彦: 3次元風速場を用いた粒子拡散法による複雑地形上の被曝線量評価モデル, 日本原子力学会誌投稿中
- 18) Pasquill, F. : " Atmospheric Diffusion ", p 126 (1974), John Wiley, New York
- 19) 原子力委員会: 発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針, p 26~28 (1977)
- 20) 角田道生, 他: 拡散実験による沿岸地域の濃度鉛直分布, 1983年気象学会春季大会予稿集, 273 (1983)
- 21) USNRC: Onsite Meteorological Programs, Regulatory Guide 1.23 (1972)
- 22) 甲斐倫明: 任意の濃度分布をもつ放射性雲からの外部被曝線量計算コード (CIDE), JAERI-M 84-006 (1984)
- 23) 林 隆, 白石忠男: 排気筒から放出される放射性雲からの γ 線照射線量率, JAERI-M 8793 (1980)

付録A SPEEDIコード・システムの設計概念とソフトウェアの構成要素

A.1 SPEEDIコード・システムの設計概念

この節ではSPEEDIコード・システム設計の考え方について触れておこう。

以下の文章の一部は参考文献(A.1)の一部を再録している。

原子力コードのシステム化の考え方、方法は時代と共に変遷している。それは大きくは第1世代(1975年頃まで)と第2世代(1975年以降)に分類することができる。第1世代では、既存コード(の入出力)を接続してゆくという考え方と実現方法が一般的であった。この方法では新規にコードを付け加えるとき、あるいは既存コードを削除するときなどに手間のかかることが多い。第2世代のシステム化の考え方、実現方法は、まず共用的基本ユーティリティを共通基盤として築き、その上に物理モジュール(単体としての原子力コード)やモジュール間インターフェイスを乗せようとするものである。SPEEDIコード・システムもこれと同じ考え、方法で作られている。

会話形のコマンド・システム、ユーティリティ、共用ソフトウェアなどは、SPEEDIコード・システムの共通基盤(Fig. A.1の横枠内の部分。ただし、気象データ自動収集ソフトウェアは未だ作られていない。)を成している。この方法の特長は、第1には各モジュールを一貫して計算でき、また単体コードとしても計算できるようになっていること、第2には個々の単体コードのシステムへの組み込み、取外しが容易であり、かつシステム全体へ影響を及ぼさないようになっていることである。第2世代の方法の欠点は、第1には基盤となるソフトウェアの作成にばう大な作業量と費用を要すること、第2にはその作業の内容が物理モジュールとほとんど関係がないことである。これらの欠点を避けるために、SPEEDIコード・システムでは、DATAPOOLやARGUSなどの既成ソフトウェアを活用し、地形、行政区界等の地域データは国土庁の国土数値情報を利用することで所要作業量の削減と作業時間の短縮を図っている。

このほかにSPEEDIコード・システムの設計にあたって考慮したおもな項目と理由、その解決策は次のとおりであった。

(1) 研究開発段階と実用段階の両立

SPEEDIコード・システムの開発が始まった時期には、システムに組込まれるべき計算コード群は原研においては未だ研究開発段階にあった。原型となる物理モデルと計算コードは、米国ローレンス・リバモア国立研究所地球科学部の研究者たちの努力によって、1976年頃から実用化の段階に入っていたのであるが、それらのコードを単に輸入するだけでは、研究的にも実用的にも使いこなすことはできない。同じ物理モデルから出発しても理論や実験による検証が必要で、その過程で研究者に蓄積した知見と経験が徐々に計算コードとシステムへ移植される必要がある。こうしてみるとSPEEDIコード・システムは、最終的には実用システムが求められながらも、研究開発的要素を多く包含していたことがわかる。従来のコード・システムは、十分に検証された既存の計算コードを集めてシステム化することを主眼としていた。

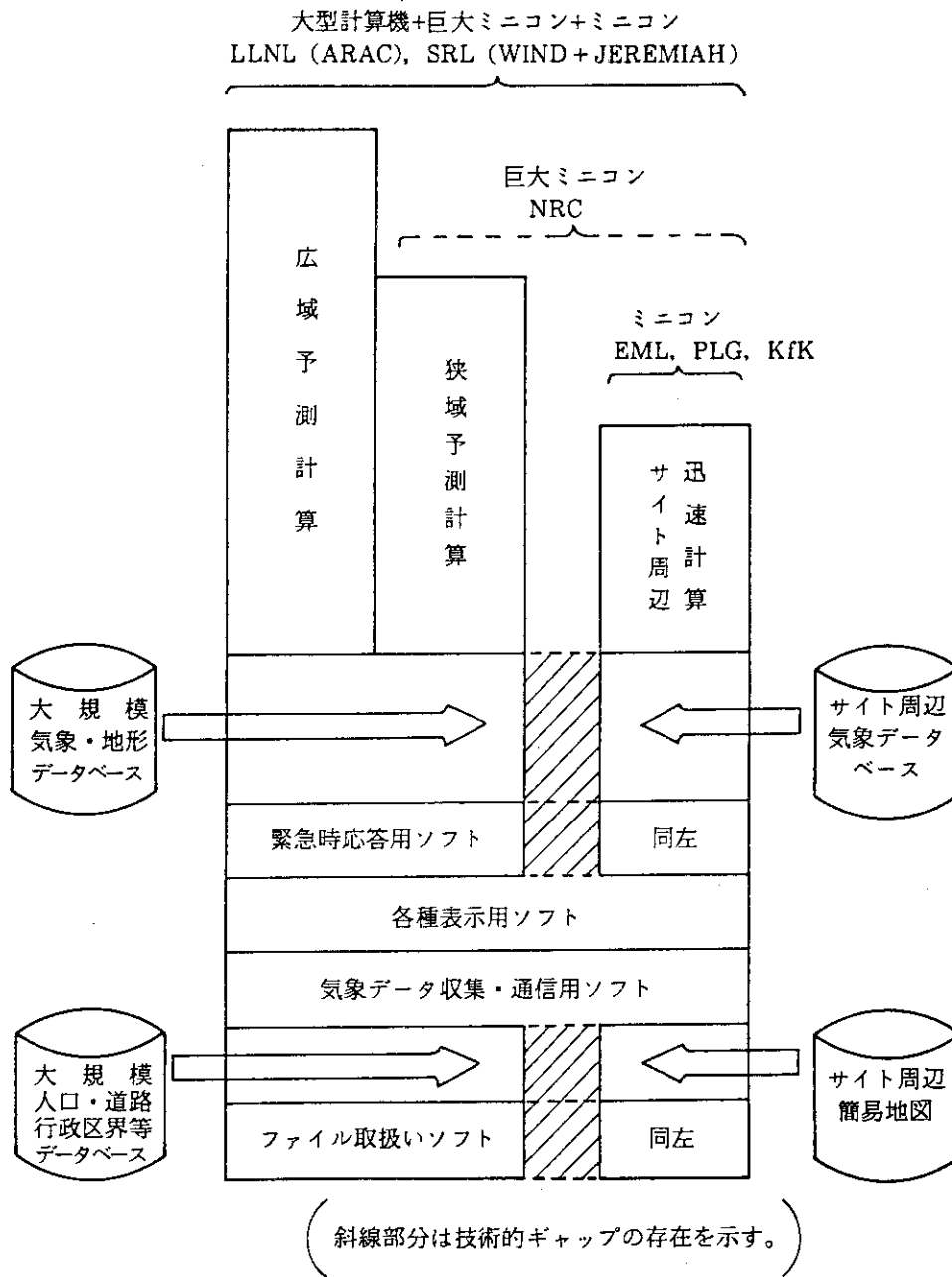


図 A. 1 各国のシステムと規模

Fig. A. 1 Scales of systems existing in the world.

そのときはシステムに組込まれた計算コード群が頻繁に修正されることはない。SPEEDI の計算コードは上述のように多くの修正が予想された。また、研究者がシステムに一時的に計算コードを付加することも、消去することも容易でなくてはならず、しかもそれらの操作をシステムが持つ機能や他の計算モジュールに無関係におこなえなくてはならない。実用的見地からはこのような複雑な操作についての考慮は不必要であるというよりは邪魔である。むしろ固定した単純な操作がのぞましい。この互いに矛盾する段階を両立させるために、コード・システムは会話形式で制御することとし、計算コードは会話形式制御部を介してできるだけゆるく結合させる方針とした。その結合の方法は前出の報告^{A.1)}に述べているので、ここでは触れない。実用的な意味から会話形式コマンドの入力パラメータの数は必要最小限に留め、利用者が質問、あるいは要求しない限りはそれ以上の入力をシステム側から要求して行くことはないよう設計されている。

(2) 実時間処理の重視

緊急時線量予測計算コード・システムの性格から、時々刻々変化する状況、例えば放出源情報、風向、風速の変化等は直ちに計算に反映させなければならない。どのような計算コードも状況変化に応じて修正されたデータを共通に使用しなければならない。このためにシステム内のどの計算コードも会話形式制御部から起動され、修正されたデータを自動的に会話形式制御部から受け取るよう設計されている。

(3) モジュラー・コード・システムの実現

コード・システムに組み込まれた計算コードがモジュラー性を有するというのは、そのコードを他の類似のコードと簡単に交換できるということである。それが可能であるためには、それらコードの入力、出力が同じ形式内容でなければならない。そこで気象データ、風速場計算出力、濃度計算出力、線量計算出力、地図データなどの大量データはデータブール・ファイルで形式と内容を統一した。各計算モジュールを制御する入力データは会話形式制御部の持つ最新基本データのうち計算コード固有の入力データと同じものがあれば、計算コードの固有入力データは会話形式制御部の最新データで自動的に置き換えられる。計算コードの固有入力データはネームリスト形式で表現され、ディスク・ファイルに格納されている。システムがこのファイルを書き換えるので、各計算コード自身の変更はない。入力データの単位が異なる場合はシステムが自動変換するよう定めた。このような簡単な方法によってモジュラー・コード・システムを実現した。

(4) データ・ファイル形式の統一

SPEEDI の計算コードで使用されるデータは、放出された核種、気象、濃度分布、線量分布、地形、地図情報等範囲の定まった共通的なものがほとんどである。したがって、これらそれぞれのデータ形式の標準仕様を定め、特に指定されない限りはこの標準形式データを使用することによって入出力データの図形表示等はシステムが用意した機能を利用できる。このため計算コードの開発者は計算部分のみに注意すればよく、開発負担が軽減される。

(5) 図形表示機能の重視

複雑地形の3次元空間における風速場、濃度、線量分布等を数字で出力しても理解が難しい。そこで利用者が適当に下絵を選択し、その上にファイルにある計算結果を会話形式でレーザ・

プリンタ、またはグラフィック端末画面上に重ね書きするようにした。こうして各計算コードは計算結果の図形表示という厄介な問題から切り離されている。

(6) システムの部分的利用

実用的に使うときも風速場、濃度、そして線量と一貫計算をおこなうとは限らないが、研究開発で使用するときには風速場、濃度、あるいは線量のいずれかの部分に限ることが多い。そこでFig. A. 2に見られるシステムの各部分の計算は他の部分とは独立に動作するように設計した。

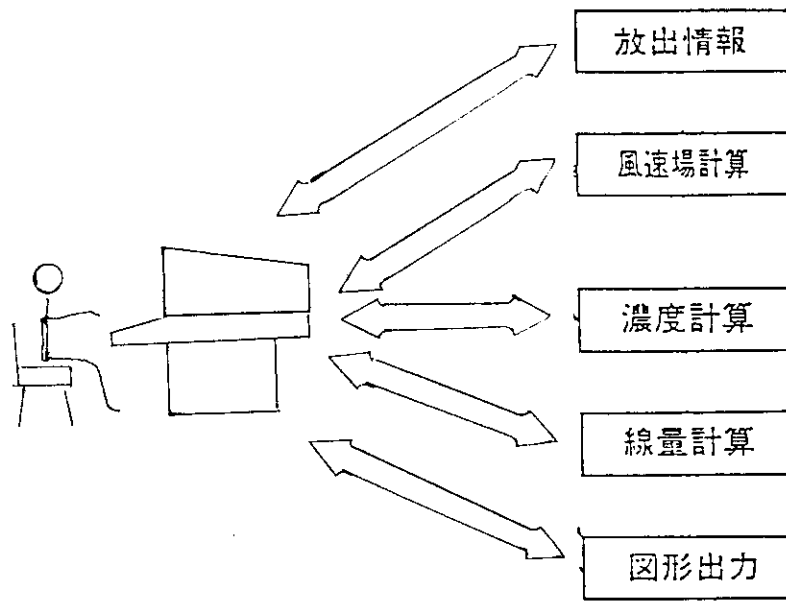


図 A. 2 各モード独立な計算法

Fig.A.2 Calculation of a mode independent of other modes.

(7) システム使用状況の自動ログ

緊急時においては情報が錯綜し、計算順序、入力データの混乱も考えられる。このため会話形式制御部を通して入力されたコマンドとそのパラメータはシステムが常時自動的にログ（記録）を取るようにした。このログはログ表示用コマンドで端末に表示することができるので過去の入力を調べることができる。現在は実験と並行しておこなうSPEEDI の運用テストなどで役立っている。

(8) 初期データ設定の自動化

会話形式各コマンドの実行や計算に必要な初期データの設定は、できる限りシステムが自動的に設定するようにした。SITEコマンドでサイト名、施設名を入力すれば、放出地点の緯度経度、放出高が自動設定されるなどはこの例である。

(9) 教示的機能 (HELPコマンド) の装備

HELPコマンドは、SPEEDI を使用中に、コマンドの機能と文法を表示するもので、簡単な使用マニュアルとして用いることができるようにした。

HELPコマンドだけを入力すると、SPEEDI が用いているコマンドの機能の一覧を表示する。HELPコマンドの次に表示したいコマンド名を指定すると、そのコマンドの文法を表示す

る。例えば、DOSEコマンドの入力パラメータの内容およびその順番を知りたいときには、

```
HELP DOSE
```

の形式で入力する。

(10) 実用システムへの体系化

最近の集積回路技術の急速な発展を背景に、米国ローレンス・リバモア国立研究所、デュボン社サバンナ・リバー研究所などでは緊急時の予測計算コード・システム全体をスーパーミニコンへ移植しようとしている。これも時代の趨勢なので、本コード・システムも最終的にはミニコンでも動かすことができるよう計算時間、メモリ、オペレィティング・システムの機能等に留意している。その点について少し述べておこう。

世界各国のこの種システムを規模によって分類すればFig. A. 1のようになる。従来の16ビット・ミニコンによって作られたソフトウェアを32ビットの計算機に移植することは、必要となる作業時間等の面から現実的でない。また逆に大型計算機や32ビット・スーパーミニコンで作られたソフトウェアを16ビット・ミニコンに移植することは、機能、計算時間、メモリ容量の面から見て不可能に近い。したがって、この両者の間には越えることのできない技術的なギャップが存在する。そこで我々はFig. A. 1の左側から右へ移る方法を採用した。即ち、先ず大型計算機でソフトウェアを開発し、その後それを巨大ミニコンに移してゆく方法である。安価な32ビット・スーパーミニコンが16ビット・ミニコンに取ってかわりつつある時代なので、この方法によればFig. A. 1のすべての範囲をカバーできる。このときスーパーミニコンに要求される機能等は、第4.3.3節で述べたとおりである。以上の(1)~(10)の議論をまとめるとFig. A. 3のようになる。

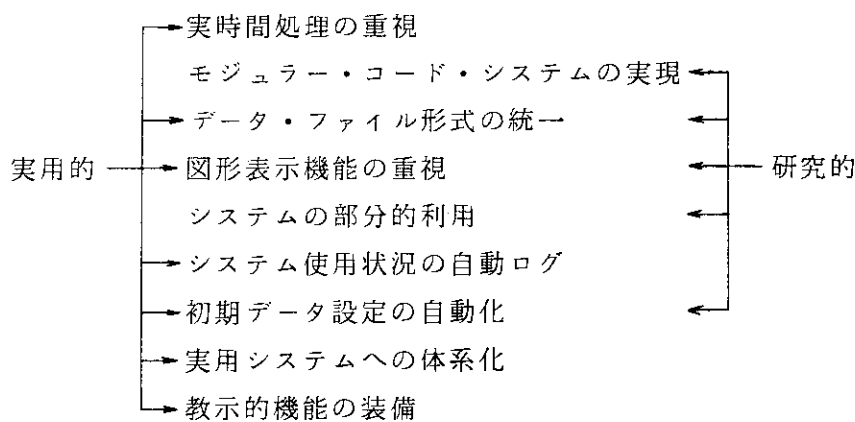


図 A. 3 SPEEDI システムの2面的設計概念

Fig. A. 3 Two sided design concepts of SPEEDI.

A. 2 SPEEDIコード・システムのソフトウェア

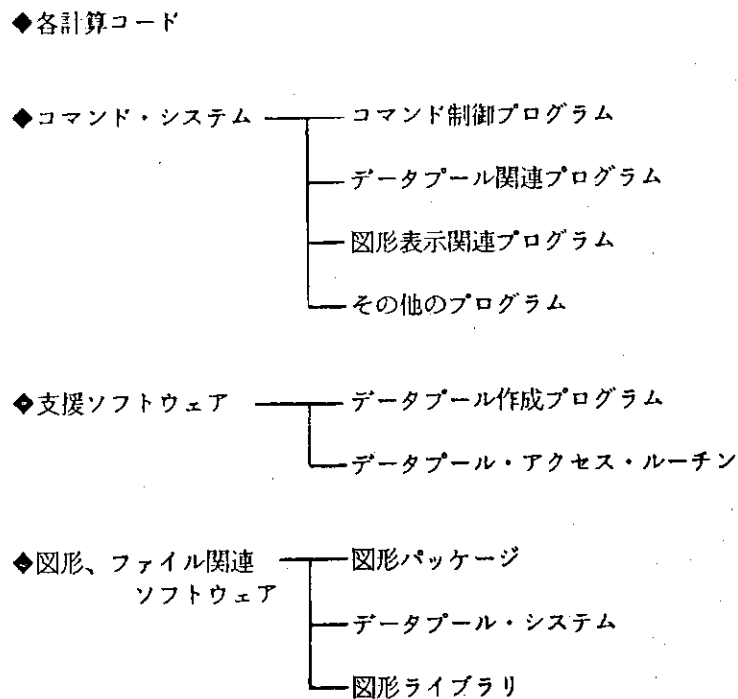
SPEEDI コード・システムを構成しているソフトウェアはFig. A. 4およびTable A.1~A.4 のとおりである。このうちTable A.3を除くソフトウェアは、このコード・システ

ムのために新規に作られたものである。計算コードはこの他にローレンス・リバモア国立研究所のMATHEW（風速場）、ADPIC（濃度）なども変換・整備し、テスト計算をおこなったが、現在のシステムには組込まれていない。ARGUS（図形表示）、DATAPOOL（ファイル取扱い）などは、その機能の一部を使用しているに過ぎないが、それでも新規に作成するよりは時間と費用の点で効率的である。Fig. A. 5～A. 6はSPEEDI実行時における各ソフトウェアの関係を示している。

参考文献

- (A. 1) 「最近の原研コード・システム」, 原子力コード研究委員会総合化専門部会編, JAERI-M 83-208, 1983年12月, 日本原子力研究所

SPEEDIシステムを構成する要素(ソフトウェア)の分類



図A. 4 SPEEDIシステムを構成するソフトウェアの分類

Fig.A.4 Categories of softwares in SPEEDI.

表 A. 1 コマンド・システム・システムの概要

Table A. 1 Components of command control system.

| 分類 | ソフトウェア名 | 概要 | CPU時間 (分 秒) | メモリ量 (KB) | I/O回数 (回) | ソース枚数 (枚) |
|----------|---------|--------------------------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| コマンド制御 | EMER | 会話型コマンド・システムの制御、崩壊計算を行う。 | ----- | <1800 | ----- | 8208 |
| データブール関連 | DISPDP | データブールの制御情報を表示する。 | ----- | ----- | ----- | 250 |
| | DISPW | 気象情報データブールの表示、更新を行う。 | ----- | ----- | ----- | 980 |
| | GWIND | 気象情報、風速場データの図形出力を行う。 | 7 s | 1452 | 2592 | 5186 |
| 図形表示関連 | GCONC | 濃度データの図形出力を行う。 | 12 s | 1688 | 4971 | 6932 |
| | GDOSE | 線量データの図形出力を行う。 | 4 s | 1300 | 1391 | 5020 |
| | GBACK | 地域情報の図形出力を行う。 | 2 s | 1140 | 802 | 3036 |
| | PLAN | 対策指標の図形出力を行う。 | 4 s | 1216 | 1613 | 4020 |
| | SITEMDP | サイト位置自動算出を行う。 | ----- | ----- | ----- | 83 |

(注)

- (1) コマンド・システムは会話型システムであるので、CPU時間、I/O回数は処理により異なる。
- (2) EMERのメモリ量は実行時の最大量でデータブール関連、図形表示関連、その他を含んでいる。
- (3) 図形表示関連のCPU時間、メモリ量、I/O回数はM380計算機でバッチ処理を行った結果より得たものである。

表 A. 2 計算コードの概要

Table A. 2 Computational codes of SPEEDI.

| 分類 | コード名 | 概要 | CPU時間 (分 秒) | メモリ量 (KB) | I/O回数 (回) | ソース枚数 (枚) |
|-------|----------|---------------------------------------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| 風速場計算 | WIND04 | 変分法を用いた3次元風速場詳細計算コード。 | 1m12s | 3028 | 4633 | 1591 |
| | MESOWIND | 2次元内挿法を用いた風速場簡易計算コード。 | 8s | 1268 | 3790 | 1406 |
| 濃度計算 | GPCONC | ガウス・プリューム・モデルを用いた簡易濃度計算コード。 | 8s | 928 | 2926 | 3833 |
| | PRWDA | 粒子拡散モデルを用いた詳細濃度計算コード。 | 2m31s | 2636 | 4542 | 3660 |
| | TRPUF | パフ・モデルを用いた簡易濃度計算コード。 | 6s | 1948 | 2575 | 2975 |
| | MESOEMR | セグメント・モデルを用いた簡易濃度計算コード。 | 8s | 1580 | 3019 | 2932 |
| | LSPUFF | パフ・モデルを用いた簡易濃度計算コード。 | 4s | 768 | 777 | 1923 *1 |
| 線量計算 | CIDE | セル線量モデルを用いた線量計算コード。 (詳細濃度計算とつなげる。) | 6s | 1228 | 2630 | 1816 |
| | DOSEMI | ガウス・プリューム・モデルを用いた簡易線量計算コード。 | 7s | 828 | 3901 | 3602 |

(注)

- (1) CPU時間, メモリ量, I/O回数はM380計算機で1時間分の計算を行った実行結果より得たものである。
(2) *1: 単体テストによる結果である。

表 A. 3 支援ソフトウェアの概要

Table A. 3 Assisting softwares for construction and access to regional and weather datapools.

| 分類 | ソフトウェア名 | 概要 | CPU時間 (分 秒) | メモリ量 (KB) | I/O回数 (回) | ソース枚数 (枚) |
|----------------|---------|--------------------------------------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| データプール作成 | RGONDP | 地域情報データベースの作成を行う。 | 8 s | 536 | 7996 | 6258 *1 |
| | WCREAT | 気象情報データベースの作成をバッチ処理で行う。 | 16 s | <1000 | 5083 | 505 *2 |
| | WEADUS | 気象情報データベースの作成を会話型処理で行う。 | ----- | <768 | ----- | 2967 |
| データプールアクセスルーチン | DPAC | ユーザプログラムとデータベースとのインターフェイスをとるサブルーチン群。 | ----- | ----- | ----- | 4662 |

(注)

- (1) CPU時間、メモリ量、I/O回数はM380計算機でバッチ処理を行った結果より得たものである。
- (2) *1：東海サイトの狭域行政界データベース作成に要した計算機資源である。
- (3) *2：72時間分のデータベース作成に要した計算機資源である。

表 A. 4 図形、ファイル関連ソフトウェア (既存プログラム) の概要
 Table A. 4 Graphic and file handling softwares in SPEEDI.

| 分類 | ソフトウェア名 | 概要 | CPU時間 (分 秒) | メモリ量 (KB) | I/O回数 (回) | ソース枚数 (枚) |
|----------------|----------|--------------------------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| 図形パッケージ | ARGUS-V4 | 汎用図形表示プログラム・ライブラリ。 | ----- | 3508 | ----- | 39715 |
| データプール システム | DPLIB | データプールプログラムライブラリ。 | ----- | 476 | ----- | 21419 |
| | DPTSS | 会話型データプール表示プログラム | ----- | <768 | ----- | 15962 |
| | PREPROC | データプール使用プログラム変換用プリプロセッサ。 | ----- | 376 | ----- | 9368 |
| 図形ライブラリ | GGs | 基本グラフィック・ライブラリ。 | ----- | 587 | ----- | 10455 |
| | PDS | DSCANインターフェイス用ライブラリ。 | ----- | 283 | ----- | 3322 |
| | PTS | TEKTRONIXインターフェイス用ライブラリ。 | ----- | 165 | ----- | 4551 |
| | PNL | NLPインターフェイス用ライブラリ。 | ----- | 65 | ----- | 2700 |

(注) メモリ量はライブラリ全体の大きさを示している。

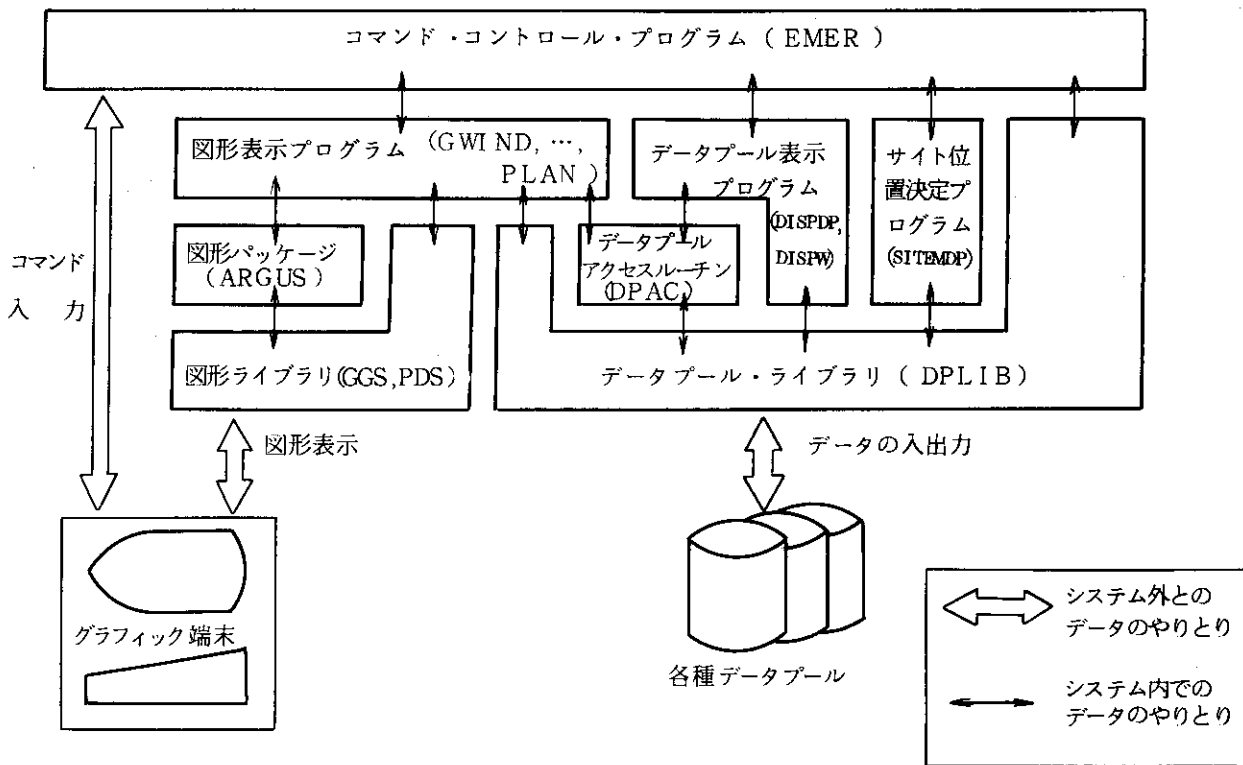


図 A. 5 コマンドシステム実行時の各ソフトウェアの関係
 Fig.A. 5 Relation of softwares in execution of command control system.

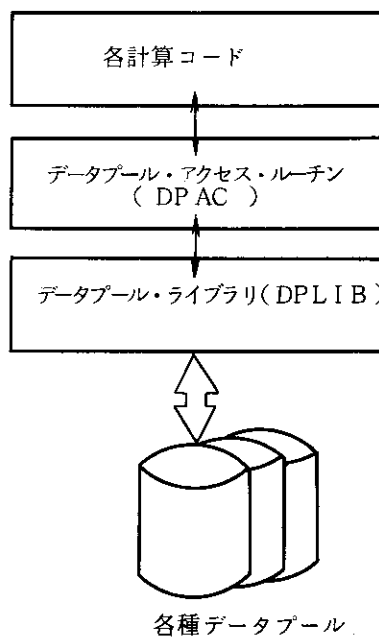


図 A. 6 計算コード実行時の各ソフトウェアの関係
 Fig.A. 6 Relation of softwares in execution of a computational code.

付録 B システム使用時の端末との会話例

ここでは、第 2.2 節に示した、システムによる被曝線量までの時間が、実際にどのような端末とのやりとりにより行われたかを示す。Fig. B. 1 は、端末の表示をそのままコピーしたものであり、下線を付した部分が、使用者が入力した部分である。入力方法は、コマンドのあとに続けてオペランドを入力する一括入力形式と、コマンドのあとに Q (例えば SITEQ) として、システムに、次に入力すべきオペランドを表示させる入力促進形式がある。Fig. B. 1 では、両方の例を示している。

```

* ENTER 'EMER DATASET-NAME (R)'  

EMER J3570.SYSCORE3.DATA(CORE1) ← システム起動  

EMER J3570.SYSCORE3.DATA(CORE1) ← コマンド

? COMMAND  

SITED ← 事故サイト設定  

SITED ← コマンド  

      (入力促進形式)
* SELECT NO. OF INPUT FORMAT TYPE
* 1 ; SITE-NAME, FACILITY-NAME, .....
* 2 ; SITE-NAME, FACILITY-NAME, REL.-HEIGHT, .....
* 3 ; LATITUDE, LONGITUDE, TERRAIN-HEIGHT,
? INPUT TYPE NO. (INTEGER , REQ'D) DEF.=*****
1
? SITE NAME (CHARACTER, REQ'D) DEF.=*****
TOKAI
? FACILITY NAME (CHARACTER, REQ'D) DEF.=*****
JFDR
? RELEASE HEIGHT (REAL , REQ'D) DEF.=*****
100.
? BURN-UP (MW/MTU) (REAL , REQ'D) DEF.=*****
4000.
? TOPOGRAPHICAL D.P. (FILE NAME, OPT. ) DEF.=J0418.SYSMAP1.+

? COMMAND  

TIME 810820 150000 810820 150000 810820 150000 10000 10000 ← 事故の時間データ  

TIME 810820 150000 810820 150000 810820 150000 10000 10000 ← 入力コマンド  

      (一括入力形式)

? COMMAND  

WIND WINDV3 LOCAL STAB=D ← 風速場計算モード  

WIND WINDV3 LOCAL STAB=D ← 設定コマンド

? COMMAND  

SUE ← 実行命令  

SUE  

K0005501 ENTRY (A) J3570.EMERDMY DELETED

*** 2ND. CORE CONTROL TABLE DISPLAY ***
MODEL NAME = WINDV3
VAR. NAME ID. DESCRIPTION TR. TYPE VALUE
MARTPY W07 REGIONAL/LOCAL C LOCAL
INOX W12 NO. OF X MESHES I *****
INZY W13 NO. OF Y MESHES I *****

```

図 B.1 計算機端末からの会話型入出力の例

Fig. B.1 Examples of conversational input/output by a terminal. (1)

| | | | |
|-----|---------------------|---|----------------|
| U10 | NO. OF X MESHES | I | ***** |
| U14 | NO. OF Z MESHES | I | ***** |
| U15 | X MESH SIZE | R | ***** |
| U16 | Y MESH SIZE | R | ***** |
| U17 | Z MESH SIZE | R | ***** |
| U07 | STABILITY(A-G) | C | D |
| U11 | SRH (MEDIC) | R | ***** |
| U03 | EST. DATE (YYMMDD) | I | 810820 |
| U04 | EST. START(HHMMSS) | I | 150000 |
| U05 | EST. END (HHMMSS) | I | 10000 |
| U18 | WIND. DP. OPEN FLAG | I | ***** |
| S01 | SITE NAME | C | TOKAI |
| S03 | SITE ID. NUMBER | I | 4 |
| F11 | TOPOGRAPHICAL D.P. | F | J0418.SYSMAP4. |
| F12 | WEATHER D.P. | F | J0418.WEATHER. |
| F13 | WIND D.P. | F | J9290.WINDP. |

 *** DISPLAY END ***
 * IF VALUES OK, HIT CARRIAGE RETURN
 CONC BOARD LOCAL

← 濃度計算モード
 設定コマンド

? COMMAND
 SUB
 K0005501 ENTRY (A) J3570.EMERDMY DELETED

*** 2ND. COFE CONTROL TABLE DISPLAY ***

MODEL NAME = RAWDA

| VAR. NAME | ID. | DESCRIPTION | TR. TYPE | VALUE |
|-----------|-----|----------------------|----------|----------------|
| FYMAP | F11 | TOPOGRAPHICAL D.P. | F | J0418.SYSMAP4. |
| FYWET | F12 | WEATHER D.P. | F | J0418.WEATHER. |
| FYWIN | F13 | WIND D.P. | F | J9290.WINDP. |
| FYCONI | F21 | INSTANT CONC. D.P. | F | J9290.INCONC. |
| FYCOHC | F22 | SURFACE CONC. D.P. | F | J9290.SFCOHC. |
| NOBITY | S03 | SITE ID. NUMBER | I | 4 |
| MAPITY | C02 | REGIONAL/LOCAL | C | LOCAL |
| ASITE | S01 | SITE NAME | C | TOKAI |
| IRDAY | T01 | REL DATE(YYMMDD) | I | 810820 |
| | | ***** | | |
| | C24 | METEOR. DATA | | |
| | C27 | LOWEST LAYER HEIGHT | R | ***** |
| EDND(2) | C28 | 2ND. LAYER HEIGHT | R | ***** |
| NSX(0) | W07 | STABILITY(A-G) | C | D |
| NSX(0) | C29 | STAB. OF 2ND. LAYER | C | ***** |
| NSX(0) | C31 | STAB. OF TOP LAYER | C | ***** |
| ICSTIM | C04 | EST. START(HHMMSS) | I | 150000 |
| PERLT | C07 | REL. PERIOD (HHMMSS) | I | ***** |
| WIDAC | C06 | DUMP. INT.(HHMMSS) | * | 0.0 |
| TRACE | C05 | EST. END (HHMMSS) | * | 0.0 |

*** DISPLAY END ***
 * IF VALUES OK, HIT CARRIAGE RETURN

☒ B.1 (2)

Fig. B.1 (2)

```

WINDO
WINDO
? WIND MODEL NAME      (CHARACTER, REQ'D) DEF.=WINDV3

WINDV3
WINDV3
? REGIONAL/LOCAL      (CHARACTER, REQ'D) DEF.=LOCAL
LOCAL
WINDV3
? EST. DATE (YYMMDD)  (INTEGER , OPT. ) DEF.=      810820
? EST. START(HHMMSS)  (INTEGER , OPT. ) DEF.=      150000
140000
100000
? EST. END (HHMMSS)   (INTEGER , OPT. ) DEF.=      10000
? DUMP. INT.(HHMMSS)  (INTEGER , OPT. ) DEF.=      10000
? STABILITY(A-G)      (CHARACTER, OPT. ) DEF.=0

```

← 風速場計算モード
設定コマンド
(入力促進形式)

```

? COMMAND
SUB
***
K000550I ENTRY (A) J3570.EMERDMY DELETED

```

*** 2ND. CORE CONTROL TABLE DISPLAY ***

| VAR. NAME | ID. | DESCRIPTION | TR. TYPE | VALUE |
|-----------|-----|---------------------|----------|----------------|
| W02 | W02 | REGIONAL/LOCAL | C | LOCAL |
| W12 | W12 | NO. OF X MESHES | I | ***** |
| W13 | W13 | NO. OF Y MESHES | I | ***** |
| W14 | W14 | NO. OF Z MESHES | I | ***** |
| W15 | W15 | X MESH SIZE | R | ***** |
| W16 | W16 | Y MESH SIZE | R | ***** |
| W17 | W17 | Z MESH SIZE | R | ***** |
| W07 | W07 | STABILITY(A-G) | C | D |
| W11 | W11 | SRH (MEDIC) | R | ***** |
| W03 | W03 | EST. DATE (YYMMDD) | I | 810820 |
| W04 | W04 | EST. START (HHMMSS) | I | 160000 |
| W05 | W05 | EST. END (HHMMSS) | I | 10000 |
| W18 | W18 | WIND. OP. OPEN FLAG | I | ***** |
| S01 | S01 | SITE NAME | C | TOKAI |
| S03 | S03 | SITE ID. NUMBER | I | 4 |
| F11 | F11 | TOPOGRAPHICAL D.P. | F | J0418.SYSMAP4. |
| F12 | F12 | WEATHER D.P. | F | J0418.WEATHER. |
| F13 | F13 | WIND D.P. | F | J9290.WINDP. |

*** DISPLAY END ***
* IF VALUES OK, HIT CARRIAGE RETURN

☒ B.1 (3)

Fig. B. 1 (3)

CONF RAUDA LOCAL 820820 160000
CONF RAUDA LOCAL 820820 160000

? COMMAND
CUP

SUB
K000501 ENTRY (A) J3570.EMERDMY DELETED

*** 2ND. CORE CONTROL TABLE DISPLAY ***
MODEL NAME = RAUDA

| VAR. NAME | ID. | DESCRIPTION | TR. | TYPE | VALUE |
|-----------|-----|----------------------|-----|------|-------|
| RESLT | C07 | REL. PERIOD (HHMMSS) | * | I | ***** |
| UTDRF | C06 | DUMP. INT. (HHMMSS) | * | I | 0.0 |
| TRADF | C05 | EST. END (HHMMSS) | * | I | 0.0 |

*** DISPLAY END ***
* IF VALUES OK, HIT CARRIAGE RETURN

REL. DATE (INTEGER , REQ'D) DEF.=*****
810820
? REL. EST. DATE (YYMMDD (INTEGER , REQ'D) DEF.=*****
810820
? REL. EST. TIME (HHMMSS (INTEGER , REQ'D) DEF.=*****
150000
? INPUT TYPE (1/2/3/4) (INTEGER , REQ'D) DEF.=*****
3
? KR83M RELEASE RATE (REAL , OPT.) DEF.=*****
0
? KR85 RELEASE RATE (REAL , OPT.) DEF.=*****
0

← 放出核種入力
コマンド

? COMMAND
D99999M B
D99999M B

← 設定データ表示
コマンド

*** 1ST. CORE CONTROL TABLE DISPLAY ***

| CODE | ID. | DESCRIPTION | TYPE | VALUE |
|------|-----|------------------------|------|--------|
| P01 | | REL. EST. DATE (YYMMDD | I | 810820 |
| P02 | | REL. EST. TIME (HHMMSS | I | 150000 |
| P03 | | INPUT TYPE (1/2/3/4) | I | 3 |
| P04 | | NUCLIDE NAME 1 | C | ***** |
| P05 | | NUCLIDE NAME 2 | C | ***** |

☒ B.1 (4)
Fig. B.1 (4)

```

R06 NUCLIDE NAME 3 C *****
R07 RELEASE RATE 1 (CI/H R *****
R08 RELEASE RATE 2 (CI/H R *****
R09 RELEASE RATE 3 (CI/H R *****
R10 KR83M RELEASE RATE R 0.0
R11 KR85 RELEASE RATE R 0.0
R12 KR85M RELEASE RATE R 0.0
R13 KR87 RELEASE RATE R 0.0
R14 KR88 RELEASE RATE R 0.0
R15 KR89 RELEASE RATE R 0.0
R16 KR90 RELEASE RATE R 0.0
R17 XE131M RELEASE RATE R 0.0
R18 XE133 RELEASE RATE R 0.0

R19 XE133M RELEASE RATE R 0.0
R20 XE135 RELEASE RATE R 0.0
R21 XE135M RELEASE RATE R 0.0
R22 XE137 RELEASE RATE R 0.0
R23 XE138 RELEASE RATE R 1000.000
R24 XE139 RELEASE RATE R 0.0
R25 I129 RELEASE RATE R 0.0
R26 I131 RELEASE RATE R 1.00000
R27 I132 RELEASE RATE R 0.0
R28 I133 RELEASE RATE R 0.0
R29 I134 RELEASE RATE R 0.0
R30 I135 RELEASE RATE R 0.0
R31 I136 RELEASE RATE R 0.0
R32 FP1 RELEASE RATE R *****
R33 FP2 RELEASE RATE R *****
R34 FP3 RELEASE RATE R *****
*** DISPLAY END ***

```

? COMMAND
DOSE CISE LOCAL RAMDA 810820 150000 20000 10000
 DOSE CISE LOCAL RAMDA 810820 150000 20000 10000 ← 線量計算コマンド

? COMMAND
GRAPH GUILD CB J3570.ADE81E.DATA DATE=810820 TIME=150000
 GRAPH GUILD CB J3570.ADE81E.DATA DATE=810820 TIME=150000 ← 観測風図形出力

? COMMAND
GO
GO
 ? COMMAND
GRAPH GUILD TO J3570.WIND81.DATA WINDV3 LOCAL DATE=810820 TIME=150000 Z=100.
 GRAPH GUILD TO J3570.WIND81.DATA WINDV3 LOCAL DATE=810820 TIME=150000 Z=100.
 ← 風速場図形出力

? COMMAND
GRAPH SCONE CC J3359.INC0NC.G.DATA RAMDA LOCAL DATE=810820 TIME=160000 +
750.015000E
 GRAPH SCONE CC J3359.INC0NC.G.DATA RAMDA LOCAL DATE=810820 TIME=160000 +
 750.015000E ← 濃度図形出力

図 B.1 (5)

Fig. B.1 (5)

```
? COMMAND  
SET G05=170000  
SET G05=170000
```

← オペランドを用いずに
データを変更するコマンド

```
? COMMAND  
GO  
GO  
K0005501 ENTRY (A) J3570.EMERDNY DELETED
```

```
***  
* IF VALUES OK, HIT CARRIAGE RETURN  
GRAPH G005E DC J3574.D0SECM.G.DATA CIDE LOCAL  
GRAPH G005E DC J3574.D0SECM.G.DATA CIDE LOCAL
```

← 照射線量率図形出力

```
? COMMAND  
GRAPH G008E DC J3574.D0SECUN.G.DATA CIDE LOCAL  
GRAPH G008E DC J3574.D0SECUN.G.DATA CIDE LOCAL
```

← 外部被曝線量図形出力

```
? COMMAND  
END
```

← システム終了コマンド

```
* COMMAND SYSTEM(EMER) TERMINATED  
*****  
* EMER COMMAND SYSTEM ENDED *  
* <<<< 01/18/84 17:00:31 >>>> *  
* *****  
READY
```

図 B.1 (6)

Fig. B.1 (6)