

JAERI-Data/Code
99-012



JP9950165



緊急時における
放射能放出源推定システムの開発

1999年3月

北端秀行・茅野政道

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。
入手の問い合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 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（〒319-1195 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 Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1999

編集兼発行 日本原子力研究所

緊急時における放射能放出源推定システムの開発

日本原子力研究所計算科学技術推進センター

北端 秀行・茅野 政道

(1999年2月9日受理)

国内のモニタリングポストの複数で異常を検出し、国内サイトから事故の通報がないような場合には、国外からの放射能の流入が考えられる。このような緊急時に備え、モニタリングと大気拡散計算から、ブラックボックスである放出地点や放出量を精度良く、且つ迅速に推定できる新たな手法の開発を行った。この方法は、従来の逆流跡線解析手法ではなく、想定される複数の放出条件（放出地点、放出開始時間、放出継続時間）の組み合わせについて実際に並列計算機で拡散計算を実行する。そしてその結果から、観測値と統計解析によって最も一致度の高い放出条件を推定するというものである。なお、本システムは日本原子力研究所の世界版緊急時線量予測システム W S P E E D I (Worldwide Vision of SPBEDI) をベースに開発を行った。

Development of the Emergency System for Radioactive Source Term Estimation

Hideyuki KITABATA and Masamichi CHINO

Center for Promotion of Computational Science and Engineering

Japan Atomic Energy Research Institute

Nakameguro, Meguro-ku, Tokyo

(Received February 9, 1999)

In case that high-level air dose rates are detected at domestic radiation monitoring points around nuclear site in spite of no report on domestic nuclear incident, one possibility for the detection would be the inflow of radionuclides discharged accidentally from neighbouring countries. As a provision against such an emergency, we developed a new method to estimate source term on the release point, time and amount precisely and quickly by using monitoring data and atmospheric simulations. This system consists of the combination of atmospheric transport simulations and statistical analysis for the prediction and monitoring of air dose rates, although traditional source estimation methods employed back-trajectory models. This system conducts, firstly, atmospheric dispersion simulations based on input parameters which are the matrix of source term of release points, release starting times and release periods using a vector-parallel computer and, secondary, statistical analysis to find the set of parameters which produces the best-fitted prediction to the monitoring data. For atmospheric simulations, the atmospheric dispersion model of WSPEEDI developed by JAERI is used.

Keywords: Source Term Estimation, Emergency, Release Amount, Environment,
Atmospheric Simulation, Statistical Analysis, Vector-parallel Computer, WSPEEDI

目 次

1. 緒 言	1
2. 推定システムの概要	3
2.1 システムの流れ	3
2.2 利用環境	5
3. 大気輸送計算	6
3.1 W S P E E D I の大気拡散モデル	6
3.2 並列同時計算手法	8
3.3 M P I - G E A R N	9
3.4 実行性能	11
4. ネームリスト作成G U I	12
4.1 画面構成	12
4.2 各種データファイル仕様	25
4.3 出力ファイル	26
5. 統計解析	29
5.1 解析手法	29
5.2 統計量	30
5.3 データ処理	31
6. 検証実験による性能評価	33
6.1 観測されるべきモニタリングデータの作成	33
6.2 推定システムの作動	34
6.3 実験結果と評価	35
7. 今後の課題	46
参考文献	47

Contents

1. Introduction	1
2. Outline of the System	3
2.1 System Flow	3
2.2 User Environment	5
3. Atmospheric Transport Simulation	6
3.1 Model of WSPEEDI	6
3.2 Parallel Method	8
3.3 MPI-GEARN	9
3.4 Parallel Performance	11
4. Graphical User Interface of Namelist Maker	12
4.1 Design and Configuration	12
4.2 Data File Format	25
4.3 Input/Output File	26
5. Statistical Analysis	29
5.1 Method	29
5.2 Statistics	30
5.3 Data Operation	31
6. Examination	33
6.1 Making Observation Data	33
6.2 Starting the System	34
6.3 Estimation Result	35
7. Conclusion	46
References	47

1. 緒言

1986年4月に旧ソ連邦で発生したチェルノブイル原子炉事故により、大気環境中に放出された放射能は北半球の広い範囲に拡散し、我が国においてもチェルノブイル起因放射能が大気から検出されている。この事故を契機に、国境を越える広範囲に影響をもたらすような大規模な原子炉事故が及ぼす環境汚染の状況を早期に予測する手法の必要性が認識されるようになり、各国の研究機関でのモデルやシステム開発、国際原子力機関による広域大気拡散モデルの評価研究プロジェクト等が行われている。

チェルノブイル事故の発生が初めて世界に報じられたのは、旧ソ連邦政府の発表によるものではなく、スウェーデンの原子力発電所周辺の環境監視装置が異常値を検出した事がきっかけになったことはよく知られている。スウェーデンでは、はじめ国内の原子力施設の異常を調査したが該当するものはなく、当時の気象条件等から旧ソ連邦での原子力事故との推定がなされるようになった。この事例は、大規模な原子炉事故が及ぼす環境汚染の状況を早期に予測することの必要性和同時に、国内モニタリングポストの複数で異常を検出し、かつ国内サイトから事故通報がないような場合に、国外からの放射能流入の可能性を考えて放出地点や、放出量などを環境モニタリングの値から推定する手法（放出源推定手法）の開発の重要性を示している。現在、我が国を含む東アジア地域では急速に原子力施設が増加しており、偏西風の風下に当たる日本では放出源推定機能を整備しておく事は、防災対策上重要である。また、国外事故に限らず過去の放射能の環境への異常放出例を見ても放出量を実時間で把握できている例はなく、放出点をはっきりしている場合においても、緊急時には、まず環境への放出量の推定が求められる。従来の放出源推定は、異常値検出地点から気流を時間的に逆方向に溯り放出点を推定する逆流跡線解析と呼ばれる手法でおこなわれてきたが、この方法は放射能が乱流拡散で広がる効果を考慮できない事、放出量に関する定量的な評価ができない事等の問題点があった。

そこで本研究では、新しい放出源推定法として、想定される複数の放出条件（放出点、放出開始時刻、放出継続時間）の組み合わせについて実際に大気拡散計算を行い、観測値と統計解析により比較する事で、もっとも確度の高い放出条件を推定する手法を開発した。観測値としては、日本の原子力発電所周辺で常時リアルタイムで測定が行われている空気吸収線量率を対象とした。大気拡散計算には、日本原子力研究所が、海外で発生した原子力関連事故により大気環境中に放出された放射性物質の広域拡散、地表面沈着及び被曝線量をリアルタイムで計算し、日本への影響を予測することを目的に開発した WSPEEDI (Worldwide version of SPEEDI) の3次元風速場モデルと大気拡散モデルを用いた。

本手法の最大の問題点は、従来の逆流跡線解析に比べ、格段に計算時間がかかる点にある。例えば、放出点と放出開始時刻の候補を10ケース設定すれば、100種類の入力パラメータに基づく拡散計算が必要になり、通常の汎用計算機では緊急時の迅速な推定は不可能である。そこで、ここでは以下の3機能を開発することで、この問題を解決した。

- (1) グラフィカルユーザーインターフェース(GUI)を用いた、簡便な入力パラメータ用ネーム

リスト群の作成機能

- (2) 各パラメータリストに基づく大気拡散計算を、並列計算機のプロセッサ群に割り振り、同時に複数計算を実行させる機能
- (3) 大気拡散計算結果と観測結果の統計処理、及び図表化を自動的に行う機能

現在までに、以上の機能の第1次版の開発を終了し、東アジア地域を対象にした試験を行う事で基本的な性能を評価したので報告する。

2. 推定システムの概要

2.1 システムの流れ

本システムは大気輸送計算と統計解析処理を中核としたシステムである。放射線の環境モニタリングで異常値を観測したと通報を受けてから、システムを作動し放出源情報を推定するまでの概略的な流れを Fig.1 に示す。

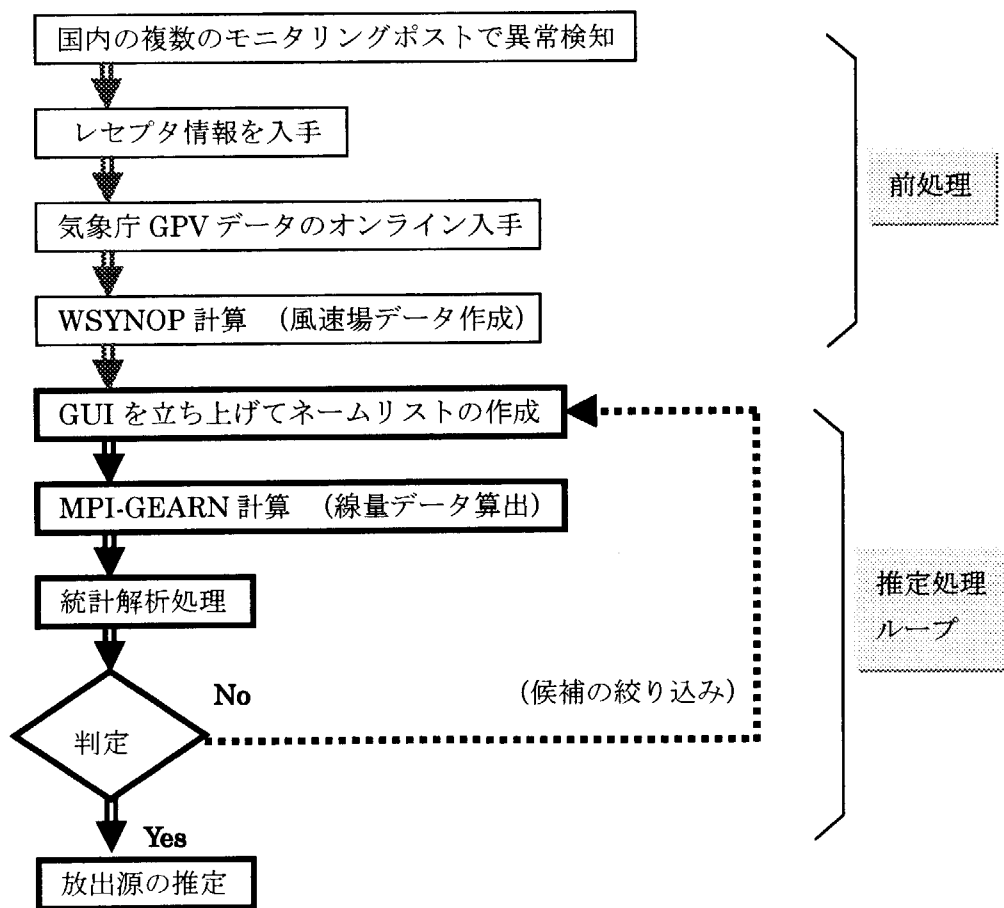


Fig.1 推定システムのフローチャート

<前処理> ;

リアルタイムで観測を行っている空気吸収線量率の異常変動が緊急通報されると、最初に各モニタリングポストで観測したレセプタ情報（空気吸収線量率）を入力し、並列計算サーバ上の所定のディレクトリ内に格納する。国内の原子力サイト周辺には高密度にモニタリング装置が配置され、常時データ収集を行っている。但し、同一サイト周辺の複数のモニタリング情報は、長距

離拡散の観点からは 1 地点の情報としての意味しか持たないので、我々は隣接するサイトを除く国内 13 個所のサイトを代表測定地点に設定した。以下にリストを掲載する。

地点名	緯度 (度)	経度 (度)
TOMARI	43.03	140.52
ONAGAWA	38.40	141.50
FUKUSHIMA	37.42	141.03
KARIWA	37.42	138.58
SHIKA	37.05	136.73
TOKAI	36.45	140.60
TSURUGA	35.75	136.02
TAKAHAMA	35.52	135.50
SHIMANE	35.53	133.00
HAMAOKA	34.62	138.15
IKATA	33.48	132.32
GENKAI	33.52	129.83
SENDAI	31.82	130.18

次に、オンラインで過去 2 週間の気象庁地球規模数値解析データ (GPV データ) を入手する。GPV データの水平分解能は緯度・経度で 2.5 度、時間分解能は 6 時間である。この GPV データをもとに WSPEEDI¹⁾の 3 次元風速場モデル WSYNOP を使って、風速データのモデル格子点への内挿と質量保存則場への修正を行い、放出放射能の大気輸送計算 (MPI-GEARN) の準備をする。以上、ここまでがシステムの前処理段階で既存の緊急時線量予測システム WSPEEDI と重複する部分である。

<推定処理ループ> ;

前処理を終えて、ここからが放出源推定システムの中心となる。本システムではレセプタ情報から近隣諸国の原子力サイト及び気象条件等を考慮に入れ、想定し得る十分に広範囲な放出条件 (放出地点、放出開始時刻、放出継続時間) の組み合わせを、GUI を使ってネームリストファイルに作成する。ここで場合によっては非常に多くのネームリストファイルを作成することになるが、後で述べるネームリスト作成ツール (GUI) を利用することによって、対話的に迅速な処理を可能にした。次に、作成したネームリストファイルを初期条件として、複数の大気拡散計算を実行する。並列計算用に新たに開発した MPI-GEARN を使うと、一度に 999 ケースの大気拡散計算を実行することができる。また、MPI-GEARN 計算は次の統計解析処理と連動しており、利用者は統計解析コードを意識せずに、MPI-GEARN を計算実行させると自動的に統計解析結果が返ってくるよう設計されている。統計解析のシステムは、測定地点での観測データと数値計算結果を比較して、相対的に最も良く一致しているケースの想定放出条件を推定結果とするもので、詳しくは 5. 統計解析を参照のこと。なお、想定条件の範囲が広すぎて統計解析結果を見ても判断が付かないときは、繰り返しネームリストの設定に戻って候補パラメータの範囲を絞り込み MPI-GEARN を実行する (ループ構造)。

2. 2 利用環境

緊急時に作動させる必然性があることから、利用環境としては、OS に依存しない Web ベースでの操作環境を基礎とした。ユーザーは PC 端末等のクライアントから Web ブラウザを立ち上げ、Java アプレットを利用した GUI を呼び出し操作を行う。この方式によりネットワークにさえ接続できれば携帯端末等により、いつでも入力データの作成から並列計算機による計算実行、及び統計処理結果の表示に至るまですべての処理を実行することが可能である。

また、並列計算サーバとしては、日本原子力研究所計算科学技術推進センター (CCSE) の複合並列計算機システム (COMPACS) 内に設置されているベクトル並列計算機 VPP300 (富士通) に対し、MPI-GEARN 及び統計解析コードからなる放出源推定システムがインストールされている。MPI ライブラリを使用しているため基本的にはマシンの機種にはあまり依存せず、汎用性が高い。

最後に、通信制御に関して説明を付け加える。本システムは PC クライアントと COMPACS の並列計算サーバとの間でネットワーク越しに操作を行っていることから、通信に関して、① **PC-COMPACS 間での通信** と、将来的に COMPACS 内の複数の並列計算サーバに実装する際の相互のデータ利用等で、② **COMPACS 内のホスト間通信** の 2 つの通信機能が必要である。これらはいずれも基本的に CCSE が開発を行っている STA (Seamless Thinking Aid) 環境で提供されている通信ライブラリを活用することで実現することができる。通常 Java はセキュリティ上の問題からクライアント上のローカルなファイルにはアクセス不可能であるが、STA ライブラリを使えば、データの受け渡しが可能となる。

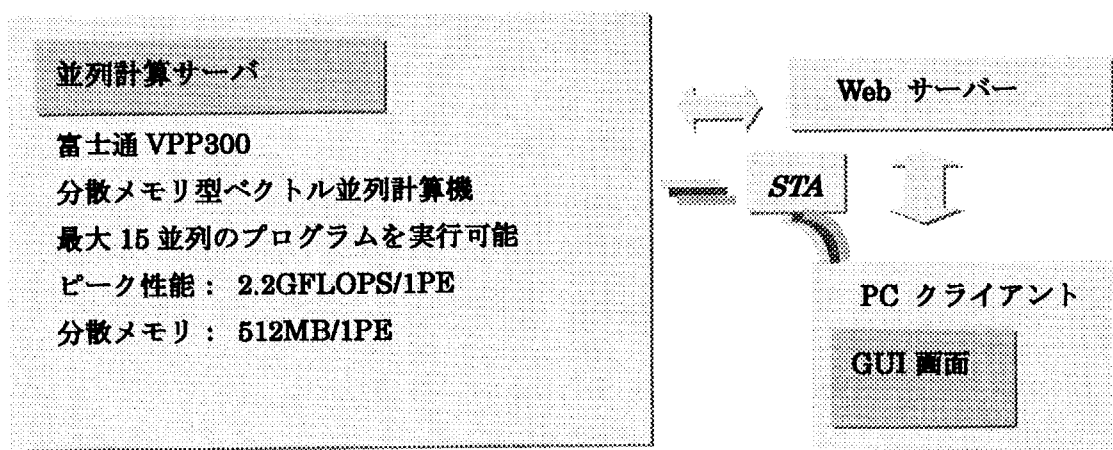


Fig. 2 利用環境の構成

3. 大気輸送計算

3. 1 WSPEEDI の大気拡散モデル^[1]

大気拡散計算モデルは、放射能の移流計算に必要な気流状態を予測する広域用3次元風速場計算モデル WSYNOP と、それに引き続き放射能のラグランジュ型（粒子型）移流・拡散計算により空間濃度、地表面沈着量及び被曝線量を予測する濃度・線量予測モデル GEARN からなる。これらのモデルは、緊急時における高速計算を達成するために、ベクトル並列計算機用の計算コードとしてプログラム化されている。

(1) 座標系

WSPEEDI の計算対象領域は直方体である。球殻状の大気層を直方体領域に変換するためには地図投影法を用いる。地形を考慮するため、鉛直座標は次式で表される地形準拠 z^* 座標系を採用している。

$$z^* = (z - z_g) / h, \quad h = (z_t - z_g) / z_t \quad (1)$$

ここで、 z はデカルト座標系の鉛直座標、 z_g は地表面高度（標高）、 z_t は計算領域上端の高度である。この座標系を用いることにより、地表面から計算領域上端までの大気層に対応する (x, y, z^*) 座標を用いた解析空間は直方体となる。

(2) 広域用3次元風速場計算モデル WSYNOP

WSYNOP は、空間分解能の低い入力風速場データから、より分解能の高いモデル格子点での風速を求めるプリプロセッサの役割を持つ診断型のモデルである。風速場計算は、1) 入力風速データのモデル格子点への内挿と 2) 風速場が質量保存則を満たすようにするための修正計算の2段階で行われる。第1段階では、水平方向には緯度・経度座標、鉛直方向には気圧座標で与えられた GPV データの水平風速成分 (u, v) を (x, y, z^*) 座標の格子点に内挿する。水平方向は線形内挿、鉛直方向は z の対数を用いた内挿である。

内挿の結果得られる初期風速場 (u_0, v_0, w_0^*) は質量保存則を満たしていないため、拡散計算の際に誤差の要因になる。そこで、第2段階では空気密度 ρ の空間内変化を考慮した質量保存則

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho h u}{m} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\rho h v}{m} \right) + \frac{h}{m^2} \frac{\partial \rho w^*}{\partial z^*} = 0 \quad (2)$$

を満たすように風速場を修正する。ここで、 m は地図投影による水平距離の歪みを補正するための係数である。風速場の修正量

$$I = \int [\alpha_u^2(u-u_0)^2 + \alpha_v^2(v-v_0)^2 + \alpha_w^2(w^*-w_0^*)^2] dV \quad (3)$$

が最小であるという条件を加えると、風速場 (u, v, w^*) を求める問題は、変分法を用いることにより数学的にはポアソン方程式を解く問題に帰着する。 α_u 、 α_v および α_w はそれぞれ各風速成分の修正量の相対的大きさを決める係数で、 $\alpha_u/\alpha_w = \alpha_v/\alpha_w = 0.02$ である。地形準拠座標系を用いた方程式とその導出は冗長になるので省略する。

(3) 濃度・線量予測モデル GEARN

GEARN は、大気中に放出された放射能を多数の粒子で模擬し、WSYNOP で計算した三次元風速場に基づいて粒子を拡散させるラグランジュ型のモデルである。粒子の移動を追うことにより、放射能の大気中での濃度、地表面沈着および被曝線量を求める。粒子の位置 \vec{r} はタイムステップ Δt 毎に次の式で求められる。

$$\vec{r}_{i+1} = \vec{r}_i + m\vec{V}\Delta t + m\delta\vec{r} \quad (4)$$

ここで、添字 i はタイムステップを表す。また、 $\vec{V} = (u, v, w^*)$ は粒子の存在する位置の風速で、WSYNOP の出力を時間・空間について線形内挿して求める。(4)式の右辺第一項は現在の位置、第二項は平均流による移流、第三項は乱流拡散およびサブグリッドスケールの気流による移動を表す。 $\delta\vec{r}$ の各成分は次式で表される。

$$\delta x = \delta y = \sqrt{24K_{hor}\Delta t}R, \quad (5-1)$$

$$\delta z^* = K'_z\Delta t \pm \sqrt{2K_z\Delta t + (\Delta t K'_z)^2}, \quad (5-2)$$

ここで、 R は区間-0.5~0.5 の一様乱数である。 K は、乱流拡散係数を表す。観測値との比較に用いる空気吸収線量率については、大気中核種からの被曝はサブマージョンモデル、地表からの被曝は無限均一面線源の仮定を用いる。各地点の核種 k の地上空気中濃度の地上値を $C_{air}(k)$ 、地表沈着量を $C_{gr}(k)$ としたとき、線量評価式は以下のように表される。

$$D_{air}(k) = DA_{cl}(k)C_{air}(k) + DA_{gr}(k)C_{gr}(k) \quad (6)$$

ここで、 DA は空気吸収線量率換算係数、 C は粒子分布から計算した各セルにおける濃度である。 DA は、任意の比率の混合希ガス及びよう素に対しても用意されており、例えばシャットダウン時刻を指定すれば希ガス 1 Bq といった単位放出を仮定した場合も計算を行う事ができる。

3. 2 並列同時計算手法

並列同時計算手法として以下の方法により、並列計算を実現する。

風速場計算コード WSYNOP については手を加えず、既存の並列版 WSYNOP を使用する。
 濃度拡散計算コード GEARN については、逐次版（非並列）GEARN を基に複数同時実行可能な並列化コード（MPI-GEARN）を新たに開発する。

- 1) 並列版 WSYNOP (VPP Fortran) で風速場計算を実行する。
- 2) MPI-GEARN で複数の拡散計算を一度に並列同時実行する。

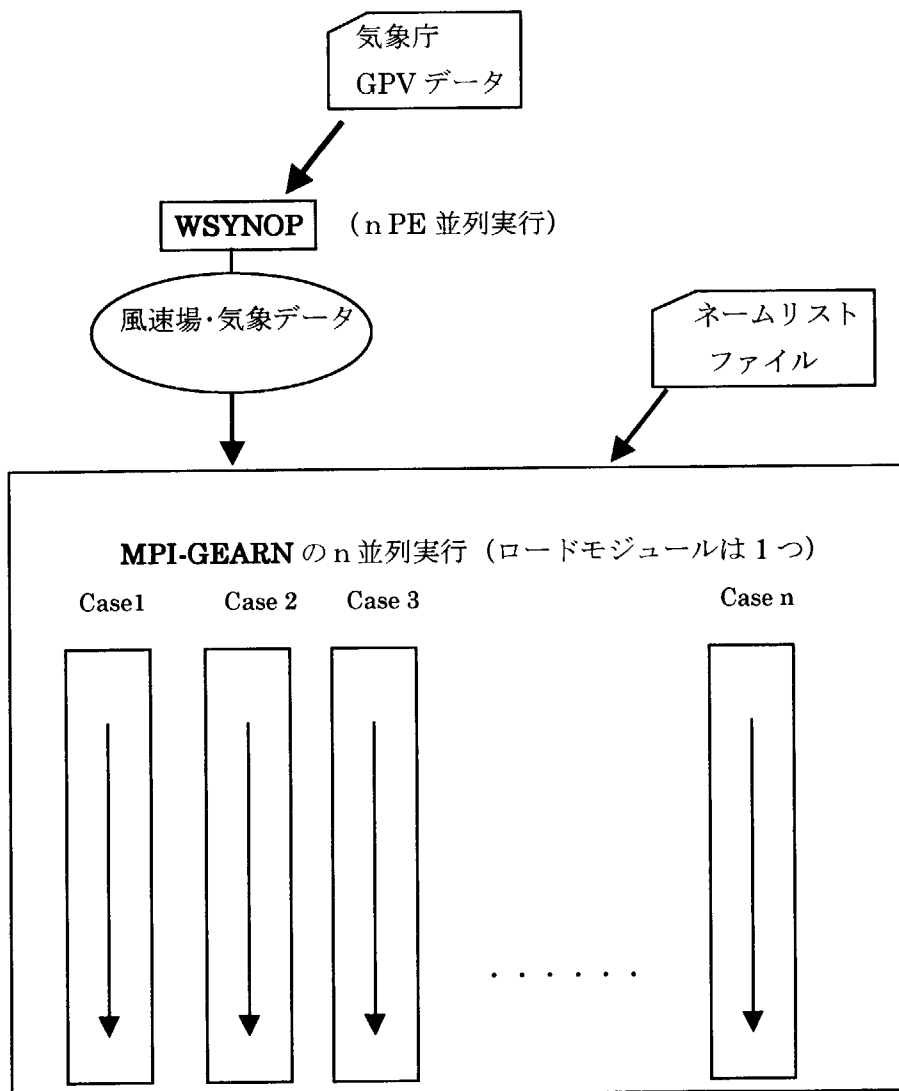


Fig.3 並列実行イメージ

3. 3 MPI-GEARN

濃度拡散計算コード GEARN (逐次版) を MPI(Message Passing Interface) を用いて並列化する。プログラミング言語は、基になる GEARN (逐次版) が Fortran (I/O ルーチンのみ C 言語) であることから Fortran 90 を使用する。GEARN は初期入力条件として、WSYNOP で作成された気象データとは別に、さらにいくつかの放出源情報が必要である。異なる n 個の拡散計算を同時に実行するためには、n 個のネームリストファイル (初期条件が記入されたファイル) が予め用意され、且つそれらが各プロセッサに振り分けられなければならない。結果出力についても同様に、各ケース毎に独立して計算結果が得られるので、出力先ファイルをそれぞれ区別して指定する必要がある。

並列プログラム作成の留意点

- 1) 各 PE で異なる namelist ファイルを OPEN-READ-CLOSE する。
- 2) 各 PE で異なる出力ファイル (標準出力を含む) を OPEN-WRITE-CLOSE する。

MPI-GEARN の構造

以下に MPI-GEARN のメインルーチンのアルゴリズムを示す。

namelist ファイル ;
 case001.nmlist
 case002.nmlist

ネームリストファイル名

出力ファイル ;
 case001.outlist
 case002.outlist

結果出力ファイル名

numf: 実行ケースの総数、 **nprocs**: 並列プロセッサ数

メインルーチン ;

NMELIST /FNAME/ numf

```

call MPI_INIT (ierr)
call MPI_COMM_SIZE (mpi_comm_world, nprocs, ierr)
call MPI_COMM_RANK (mpi_comm_world ,myrank, ierr)

```

MPIプログラムの
前処理

```

read (1, FNAME )
allocate (fname(numf), foname(numf))

```

並列情報の読み込みと配列の割付

```

=====
do i = myrank+1, numf, nprocs
=====

```

各 PE への入力情報の振り分け

```

write(fname( i ),'(a,i3.3,a)' 'case', i ,'.nmlist')
write(foname( i ),'(a,i3.3,a)' 'case', i ,'.outlist')

```

```

open(unit=10, file=fname( i ))
open(unit=20, file=foname( i ))

```

留意点 1)、2) に関する
入出力ファイルの

open-read-close

open-write-close

処理

逐次版 GEARN

```

call flush(10)
call flush(20)
close(10)
close(20)

```

```

=====
end do
=====

```

(注意) 並列計算機 vpp を使った入出力処理では close 文を実行しただけでは、メモリ (バッファ上) のデータがディスクに書き込みが行われなままプログラム実行が終了する場合があります。そのため対処法として、close 文実行直前に flush 関数を呼び出してメモリ上のデータをディスクへ書き込ませている。

3. 4 実行性能

後で紹介する検証実験 (5.3 のステップ 1) の例を用いて計算コストを評価する。合計 292 ケースの大気拡散計算を一度に実行した結果を示す。使用した計算サーバは、富士通の分散メモリ型ベクトル並列計算機 VPP300 で、15 プロセッサを使用した。また、MPI-GEARN の 1 ケースあたりの計算中に用いた粒子数は 24000 個、追跡時間は 84 時間である。その他、推定パラメータ以外のネームリストパラメータは以下の通りである。

ネームリストファイル；

```
ISNAME='ASIA'  
IRLFLG=1  
IOPEN=0  
Z00=10  
REACT='BWD'  
BURNUP=20000  
MAPTP='AREA1'  
ITRACE=840000  
IWIDREC=010000  
MAXP=24000  
TFULL=3600
```

実行コスト；

```
292 ケース ・ 15 P E 使用  
経過時間： 2 時間 43 分
```

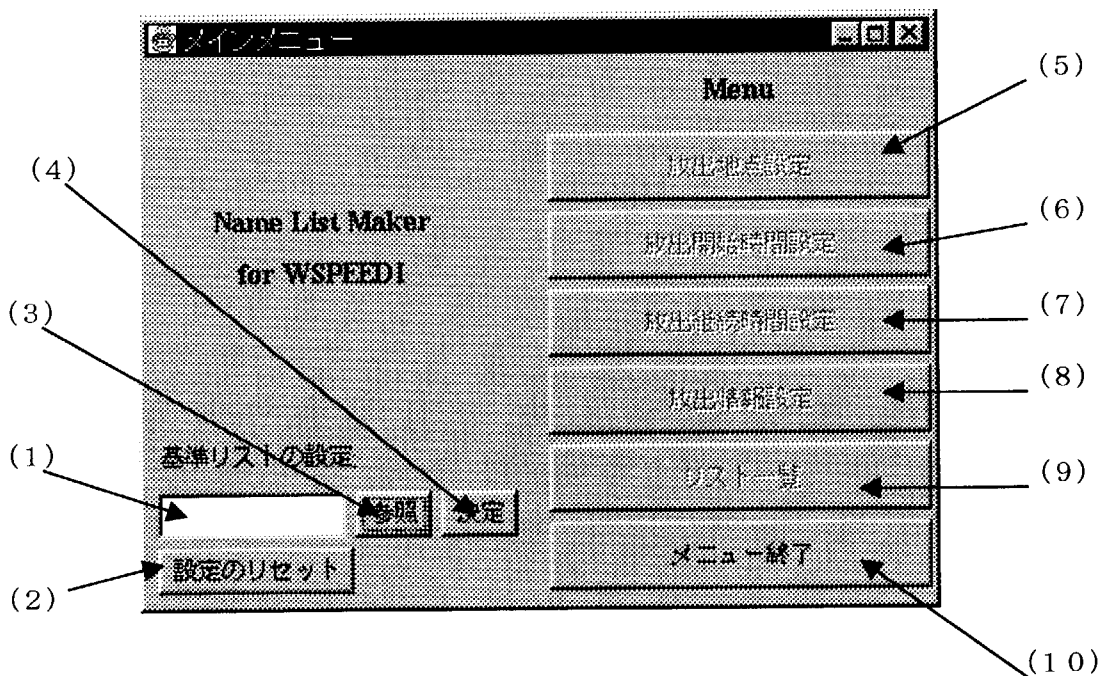
4. ネームリスト作成 GUI

4. 1 画面構成

画面構成を以下に示す。

①メインメニュー

メインメニューの構成を下図に示す。



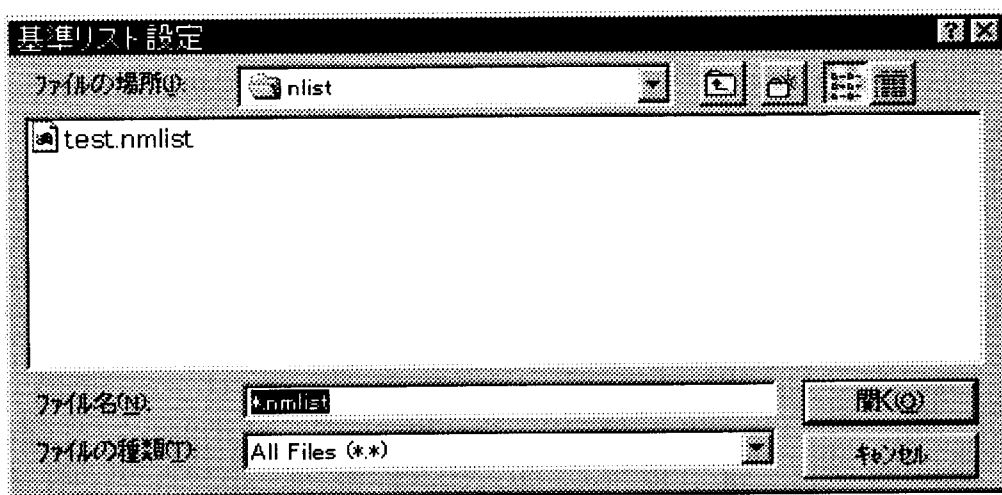
各部の内容は以下の通り。

- (1) 基準 namelist 表示フィールド
選択された基準 namelist を表示する。
- (2) 設定のリセットボタン
すべての設定をリセットする (起動時の状態に戻す)。
- (3) ファイル参照ボタン
基準 namelist を選択します。
- (4) 基準 namelist 選択決定ボタン
選択された基準 namelist を決定する。このボタンを押すと以下の (5) ~ (8) ままで有効となる。その後基準 namelist は変更できない。
- (5) 放出地点設定
- (6) 放出継続時間設定

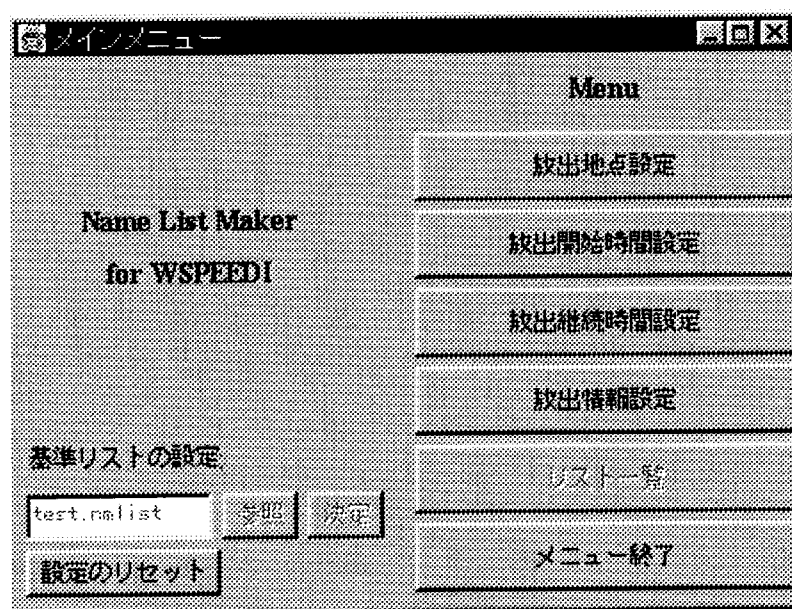
- (7) 放出情報設定
基準 namelist 内の IRLFLG が 1 の時にのみ有効となる。
- (8) リスト一覧
すべてのデータ入力が終了後有効になる。
- (10) メニュー終了ボタン

・ファイルの選択画面

(3) の参照ボタンを押すと以下のファイルダイアログが表示される。

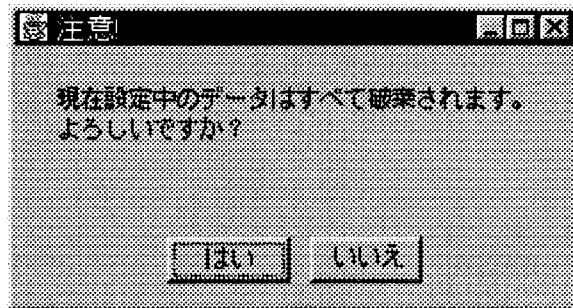


このファイルダイアログより基準 namelist を選択する。選択するとメニュー画面にファイル名が表示される。決定ボタンを押すことにより (5) 以下のボタンが有効になる。



・ 設定リセット確認画面

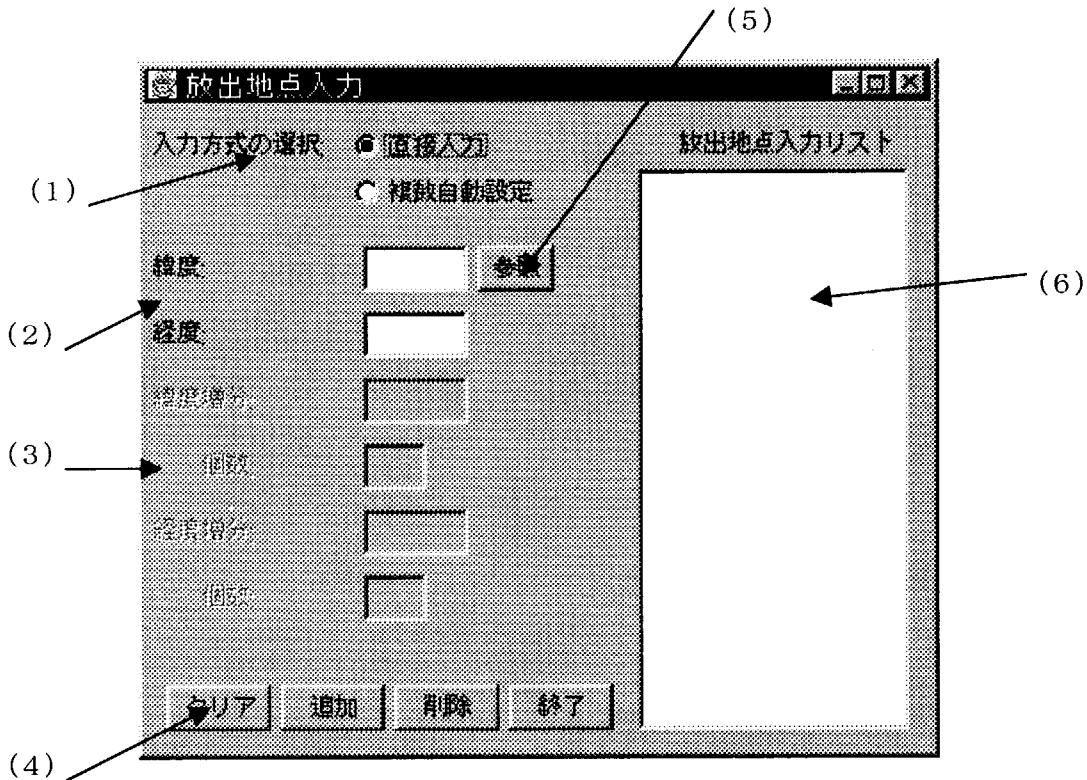
図中の設定のリセットボタンを押すと下図に示す確認ダイアログが表示される。



ここで“はい”を選択するとすべての設定がリセットされ、起動時と同じ状態になる。
“いいえ”を選択した場合はリセット処理がキャンセル（データは保持）される。

② 放出地点設定画面構成

放出地点設定画面の構成は以下の通りである。



各部の概要は以下の通り。

- (1) 入力方式の選択：直接入力と複数自動設定の2種選択式
- (2) 放出地点の緯度・経度の入力フィールド
数値入力と放出地点選択ファイルの2種選択式
- (3) 緯度・経度の増分入力フィールド（複数自動設定選択時）
複数自動設定時に有効になる。増分・個数を入力（少数点2桁。緯度・経度どちらか一方でも可）。
- (4) クリア・追加・削除・終了ボタンパネル
クリア（フィールドのリセット）、追加（データのリストへの追加）
削除（追加したデータの削除）、終了（画面のクローズ）
- (5) 放出地点選択ファイルの参照
放出地点選択ファイルよりデータを参照する場合に使用。
選択ダイアログが表示される。
- (6) 入力リスト表示
追加されたデータを一覧で表示する。

・複数自動設定入力選択時の画面

複数自動設定を選択時は、以下のように緯度・経度の増分入力フィールドが有効となる。

・放出地点選択画面

(5) の放出地点選択ファイル参照ボタンを押すことにより、以下のダイアログが表示される。

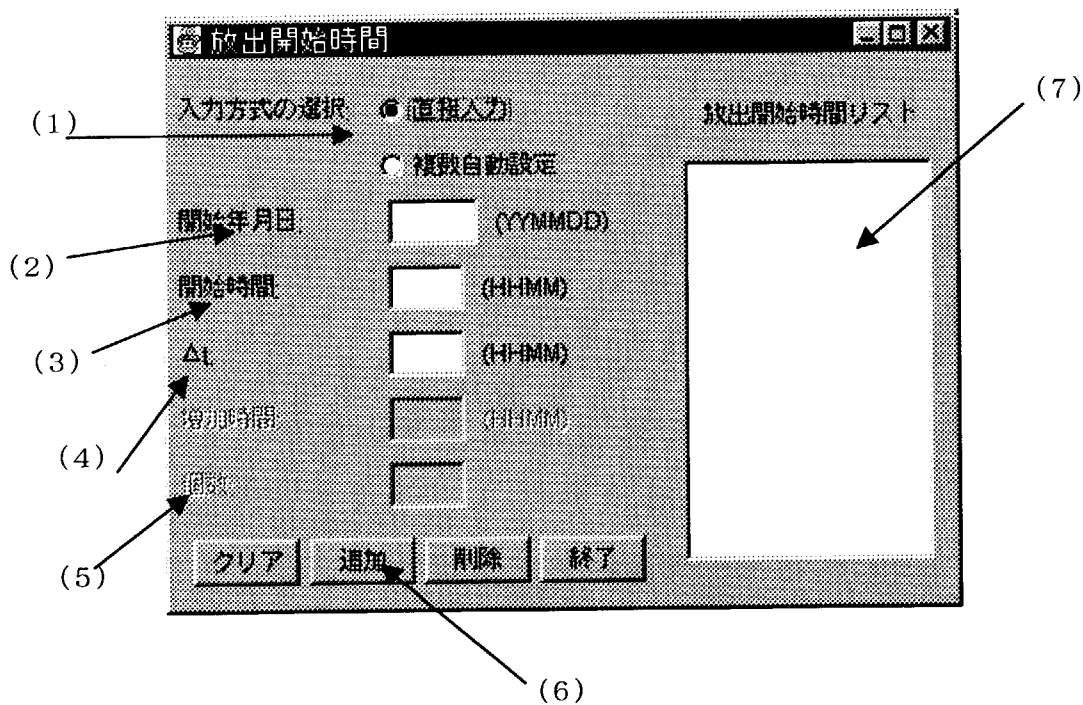
このダイアログ起動後は以下の手順に従って放出地点を選択する。

- 1) ダイアログ中の参照ボタンを押し、放出地点データファイルを選択する。
- 2) 選択可能なデータが読み込まれ、ダイアログ中の地域名ボックスに選択可能な地域名が表示される。
- 3) 地域名をボックスより選択する。リストに地域に含まれる放出地点が表示される。
- 4) リストより選択する地点を選ぶ。
- 5) “OK” ボタンを押す。

この点順により選択されたデータが放出地点入力画面の所定のフィールドに入力される。

③ 放出開始時間設定画面

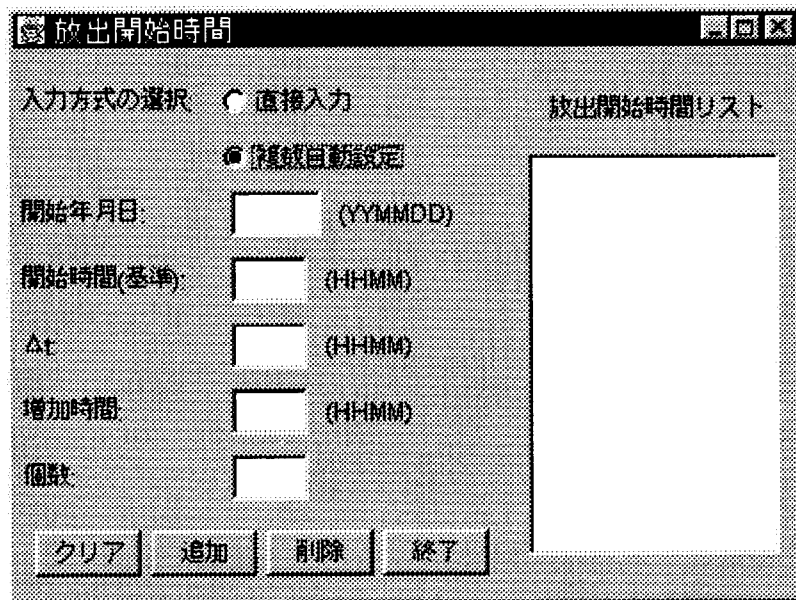
放出開始時間設定画面の構成は以下に示すとおりである。



- (1) 入力方式選択：直接方式・複数自動設定の2種選択
- (2) 開始年月日入力フィールド：YYMMDDで入力。閏年対応。
- (3) 開始時間入力フィールド：HHMMで入力。
- (4) シャットダウン時間との差分時間の入力フィールド：HHMMで入力。
- (5) 複数自動設定時の増加時間と個数の入力フィールド：HHMMで入力。
- (6) クリア、追加、削除、終了ボタンパネル
- (7) 入力データ一覧リスト

・複数自動設定時の画面構成

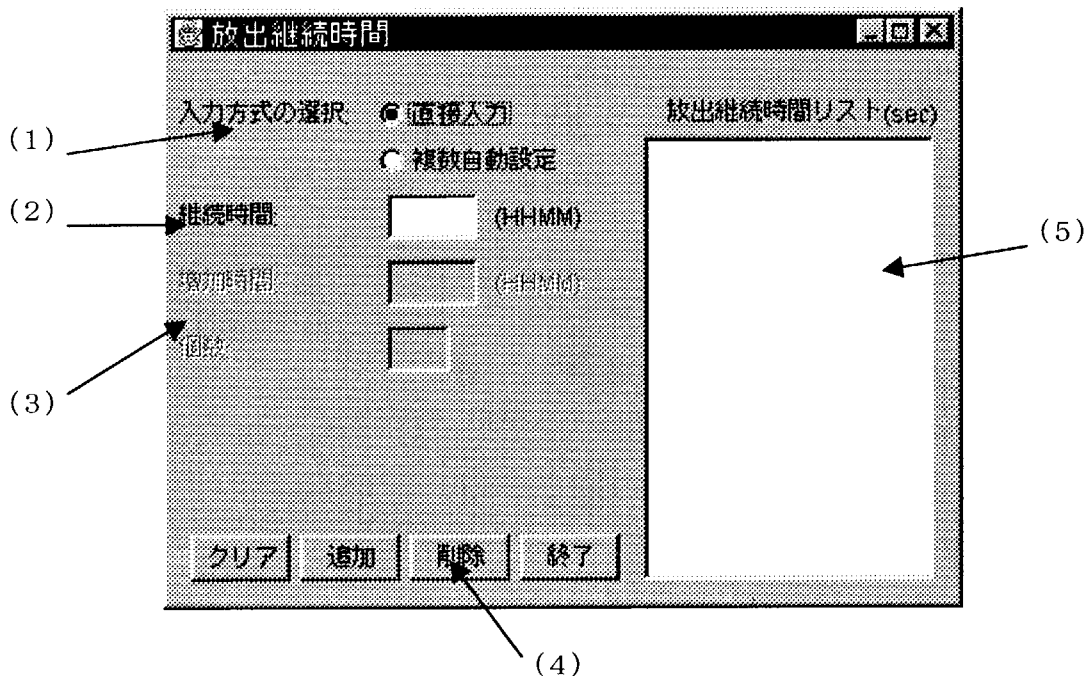
複数自動設定時の画面構成を以下に示す。



増加時間・個数の入力フィールドが有効になる。

④ 放出継続時間設定画面

放出継続時間設定画面構成を以下に示す。



各部の概要は以下の通り。

- (1) 入力方式の選択：直接入力・複数自動設定より選択。
- (2) 継続時間入力フィールド：HHMMで入力。
- (3) 増加時間・個数入力フィールド（複数自動設定時）
増加分の時間、および増加の個数を入力する。
- (4) クリア・追加・削除・終了ボタンパネル
- (5) 入力リスト一覧
入力された継続時間を一覧表示。リストに表示される時は秒表示となる。

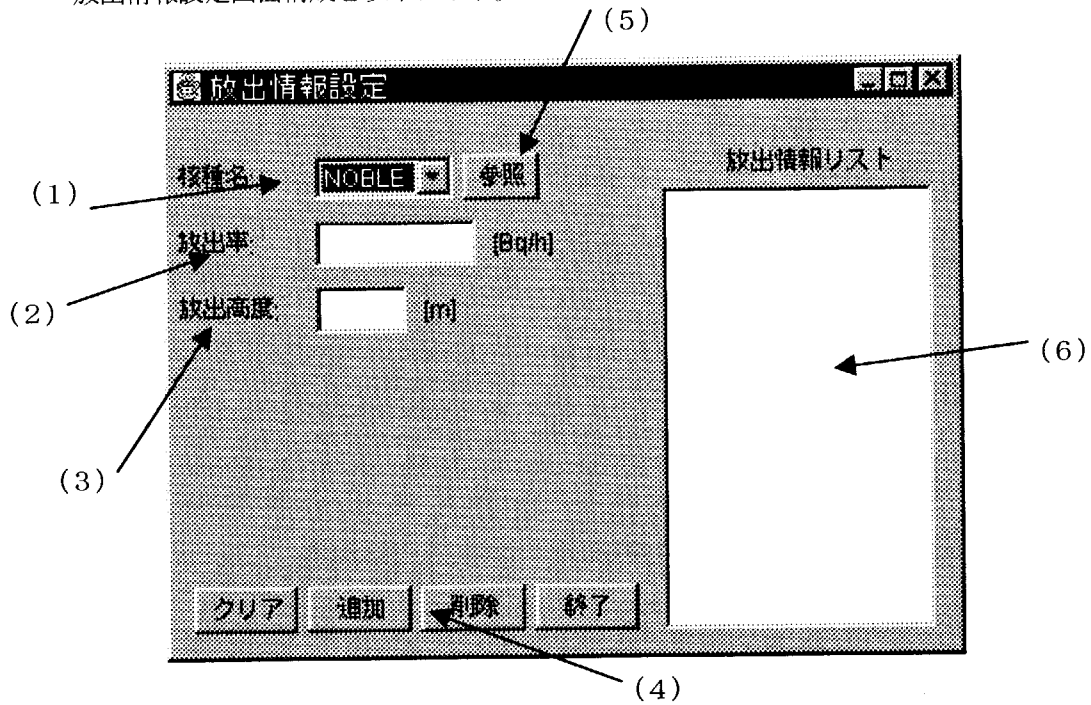
・複数自動設定時の画面構成

複数自動設定時の画面構成を以下に示す。

増加時間・個数入力フィールドが有効になる。

⑤ 放出情報設定画面

放出情報設定画面構成を以下に示す。

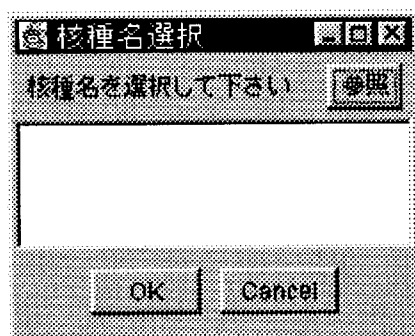


各部の概要は以下の通りである。

- (1) 核種名選択ボックス：核種名を選択する。
- (2) 放出率入力フィールド
放出率を入力する。E型 (E 1 2. 3) フォーマットで入力する。
- (3) 放出高度入力フィールド：放出高度を入力。一度のみ入力可。
- (4) クリア・追加・削除・終了ボタンパネル
- (5) 核種ファイル参照ボタン
選択ボックスで選択できる各種以外の種類の選択時に使用。
- (6) 入力データ一覧リスト

・核種名選択画面構成

図中（5）に示す核種ファイル選択ボタンを押すことにより、以下に示す核種名選択ダイアログが表示される。

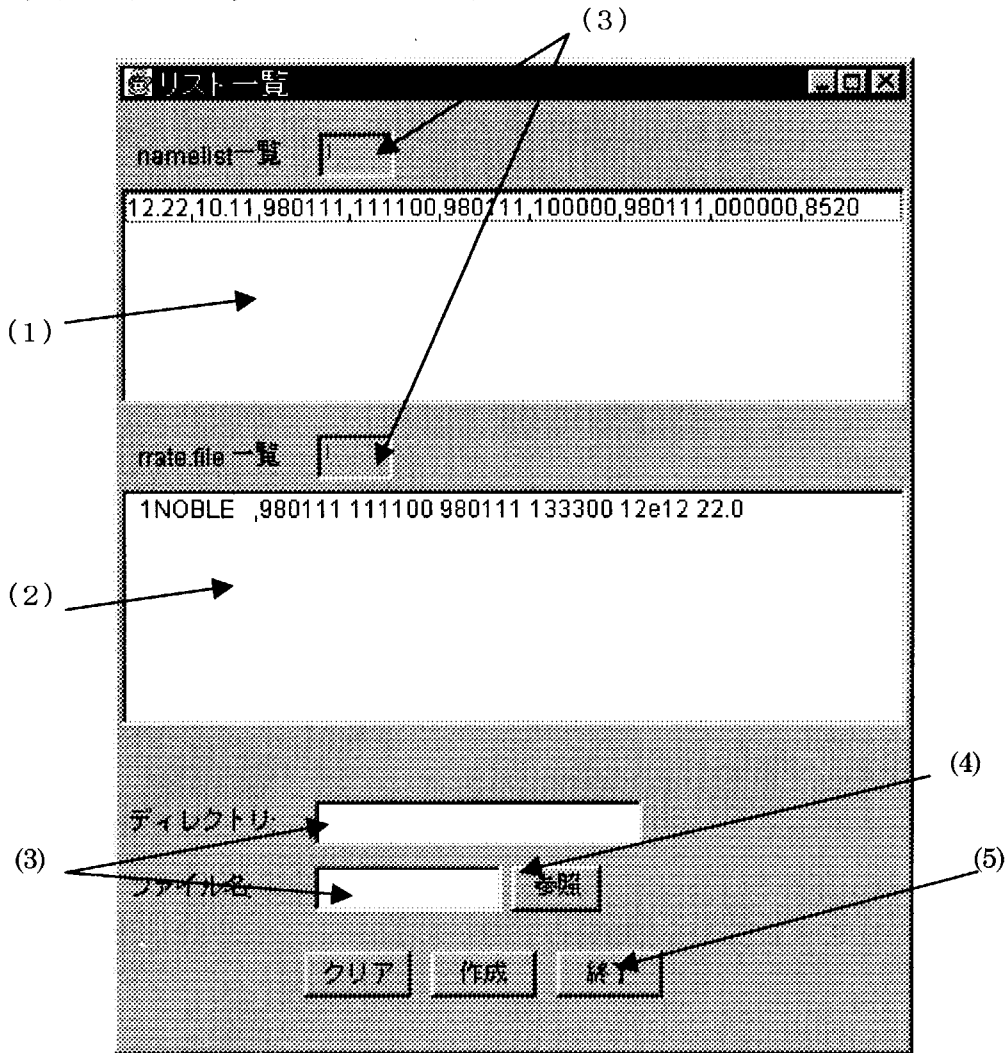


この核種名選択ダイアログは以下の手順により使用する。

- 1) 核種名選択ダイアログ中の選択ボタンを押し、核種名ファイル選択ファイルダイアログを表示する。これより核種名ファイルを選択する。
- 2) 核種名ファイルが選択されると、各種名選択ダイアログ中のリストボックス内に選択可能なデータが表示される。この中より核種名を選択し“OK”ボタンを押す。
- 3) 放出情報設定画面中の核種名選択ボックス（1）に選択したデータが追加される。

⑥ ファイル一覧画面構成

以下にファイル一覧画面の構成を示す。



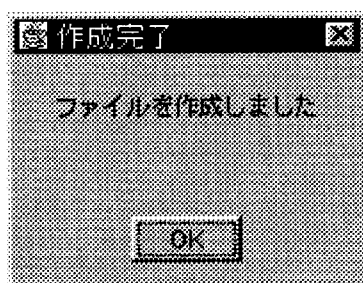
各部機能概要は以下に示す通り。

- (1) namelist ファイルデータ表示リスト:namelist ファイルに出力するデータ一覧
- (2) rrate.file ファイルデータ表示リスト
rrate.file ファイルに出力するデータ一覧(IRLFLG が 1 の場合)。
- (3) 作成ファイル数表示フィールド
- (4) 作成ファイル名、ディレクトリ名表示フィールド
- (5) 作成ファイル名、ディレクトリ選択ボタン
- (6) クリア・作成・終了ボタンパネル

・ファイル作成手順

namelist ,rrate.file は以下の手順に従って作成する。

- 1) 図中(5)のファイル作成ディレクトリ・ファイル名参照ボタンを押す。これによりファイルダイアログが表示される。
- 2) ファイルダイアログより **namelist** ファイル等を作成するディレクトリを指定し、ファイル名(case001.nmlist の case 部)を指定する。
- 3) “作成”ボタンを押す。作成終了後下記の作成完了を知らせるダイアログが表示される。



ファイル作成終了後は一覧リスト画面“終了”のボタン以外はすべて使用不可になる。終了ボタンを押し一連の操作が終了する。

リスト一覧

namefile一覧

12.22,10.11,980111,111100,980111,100000,980111,000000,8520

ratefile一覧

1NOBLE ,980111 111100 980111 133300 12e12 22.0

ディレクトリ:

ファイル名:

4.2 各種データファイル仕様

namelist 作成支援ツールでは、放出地点データファイル、核種名ファイルの二つの入力データの読み込みがある。これらのファイルは名前に指定はなくサフィックスが(.dat)であればファイルフォーマットさえ正しければよい。

ファイルフォーマットは以下に示す通りである。

・放出地点選択ファイル

放出地点選択ファイルの作成方法と例を以下に示す。

```
#
# 位置データファイル
#
# (#は注釈。)
```

地域名は一行にコロン(:)を最後につける。

```
#
ASIA: ← (1)
```

地域名の下にそこに含まれるデータを記述する。
エリア名、地名、緯度、経度 で記述。
パラメータ間はコンマ(,)で区切る。

```
AREA2, Kori , 35. 32, 123. 30 ← (2)
AREA2, Uljin, 33. 22, 123. 22
AREA2, Yongbyon, 22. 22, 111. 11
```

ファイル中の(#)は注釈として解釈する。

1 行目に地域名(例では ASIA)を末尾に(:)を付けて記述する(1)。

2 行目以降にその地域に属する位置データを記述する(2)。

次の地域からはその下に続けて記述していく。

・核種名データファイル

核種名データファイルの作成方法と例を以下に示す。

```
#
# 各種名データファイル
#
# # はコメントと判断する。
# データ間はコンマで区切って記述することが出来る。
#
Item1, Item2, Item3, Item4, Item5, Item6 ← (1)
#
# 下記のように改行しても読み込める。適当に改行してください。
#
Item7 ← (2)
Item8
```

(#)は注釈と解釈する。

データフォーマットは() で一つ一つの名前を区切(1)つても、適当な所で改行(2)されていても一つのデータとして読み込む。

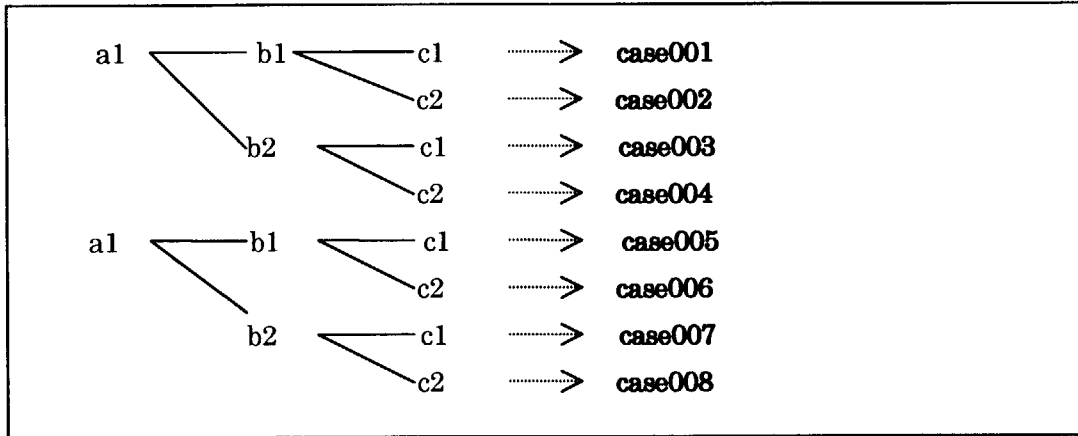
4.3 出力ファイル

出力ファイルは以下の3種のファイルである。

```
case001.nmlist    : ケース番号 1 番に仮定したネームリストファイル
case001.rrate.data : ケース番号 1 番に仮定した放出情報
                   nmlist, と rrate.data は同数を複数個 (ケース数) 作成
num.files        : 実行する総ケース数、各パラメータの候補数情報
                   num.files は一つだけ出力。
```

nmlist 及び rrate.data データは候補パラメータ(放出地点、放出開始時間、放出継続時間)の組み合わせ数だけファイルが作成される。それぞれのファイルには連番が付けられる(case001.nmlist の 001 の部分)。番号の規則は以下に示す通りである。

放出地点(a1,a2), 放出開始時間(b1,b2),放出継続時間(c1,c2) とすればファイル番号は以下の規則に従う。



`nm1ist rrate.data num.files` はそれぞれ同一のディレクトリに作られ、フォーマットは以下に示す通り。

case0001.nm1ist

```
&JGEARN
RLAT = 129.38      (経度 ; 度)
RLONG = 37.10     (緯度 ; 度)
IRTIM(1) = 980408, (放出開始時間 ; YYYYMMDD)
IRTIM(2) = 173000, (放出開始時間 ; HHMMSS)
ISDTIM(1) = 980408, (シャットダウン時間 ; YYYYMMDD)
ISDTIM(2) = 073000, (シャットダウン時間 ; HHMMSS)
ICSTIM(1) = 980408, (計算開始時間 ; YYYYMMDD)
ICSTIM(2) = 120000, (計算開始時間 ; HHMMSS)
TFULL = 3600      (放出継続時間 ; 秒)
&END
```

case001.rrate.data

```
1NOBLE      (核種数、核種名)
980111 111100 980111 134200 1.3e23 10.0
(放出開始時間、放出終了時間 ( ; YYYYMMDD HHMMSS)、放出率、放出高度 (m))
```

num.files

```
&FNAME  
intval = 1000, (シャットダウン時間から放出開始時間までのインターバル時間 ; HHMM)  
numf = 100, (設定ネームリストの総数 ; 個数)  
ipos = 2, (放出地点の設定候補数)  
jstat = 50, (放出開始時間の設定候補数)  
kdu = 1 (放出継続時間の設定候補数)  
&END
```

5. 統計解析

5. 1 解析手法

求める放出源情報のうち放出地点と放出開始時刻、放出継続時間の3情報 ($i=1,2,3$) を未知のパラメータとする。各パラメータの候補数を J_i 個とすると、 $J_1 \times J_2 \times J_3$ (候補数の積) のマトリクス計算を並列計算機で迅速に行う。n箇所のモニタリング地点の空気吸収線量率 D_n と、単位放出を仮定して拡散計算により得られた各モニタリングの空気吸収線量率 $D_{n,c}$ の比較から統計解析処理を行い、放出量 $q_n (=D_n/D_{n,c})$ のモニタリング地点間でのばらつき、すなわち偏差 σ_q のもっとも小さいパラメータの組み合わせと q (放出量の期待値) を放出源情報とする (Minimum σ_q 法)。但し、この方法では、マトリクスを形成するパラメータの候補数を仮に 10 個とするだけで 3 パラメータとも未知である時、計算すべきケースは $10 \times 10 \times 10 = 1000$ ケースにもなり並列計算機をもってしても容易ではない。そのため、現実と考えられる未知のパラメータを以下のように分類し、最大2パラメータのマトリクスとなるよう2ステップで実行する。すなわち、第一段階として、放出地点と放出開始時刻を未知のパラメータとし、2次元マトリクスの予備計算を行う。そしてモニタリング地点の空気吸収線量率 D_n と、単位放出を仮定して計算により得られた各モニタリングの空気吸収線量率 $D_{n,c}$ との比較から NMSE (平均二乗誤差)、PCC (相関係数) の統計量を算出し、一致度の合計順位の最も高いものを放出地点と放出開始時刻に決定する (ステップ1)。次にステップ1の結果を受けて、放出継続時間を未知のパラメータとして Minimum σ_q 法により放出継続時間と放出量を決定する (ステップ2)。

	放出地点	放出開始時刻	放出継続時間	放出量
I	X	X	X	X
II	O	X	X	X
III	O	O	X	X
IV	O	O	O	X



	得られる情報	統計処理
I	放出地点、放出開始時刻	NMSE+PCC (step1)
	放出継続時間、放出量	Minimum σ_q (step2)
II	放出開始時刻	NMSE+PCC (step1)
	放出継続時間、放出量	Minimum σ_q (step2)
III	放出継続時間、放出量	Minimum σ_q
IV	放出量	Averaged q

NMSE: 2乗平均誤差 PCC:相関係数

例えば、ケース I では、放出継続時間を任意（1 時間）に固定し、放出地点と放出開始時刻を未知のパラメータとして、2 次元マトリクスの予備計算を行う。モニタリング地点の空気吸収線量率 D_n と、単位放出を仮定して計算により得られた各モニタリングの空気吸収線量率 $D_{n,c}$ の NMSE と PCC から放出地点と放出開始時刻を決定する（ステップ 1）。その後、ステップ 1 で求めた放出地点、放出開始時刻を設定し、残る放出継続時間を未知のパラメータとして拡散計算を実行する。NMSE、PCC の算出結果と、併せて Minimum σ_q 法を用いて放出継続時間の推定と放出量を算定する。（ステップ 2）。

5. 2 統計量

統計量として使用している NMSE、PCC は以下の計算式に従う。

① NMSE (The Normalized Mean Square Error)

$$NMSE = \frac{1}{nmOP} \sum_{ij} (O_{ij} - P_{ij}) \quad (7)$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

O : 観測データ

P : 予測データ

m : モニタリングデータ数 (/ 1post)

n : モニタリング地点数

② PCC (Pearson's Correlation Coefficient)

$$PCC = \frac{\sum_{ij} (O_{ij} - \bar{O})(P_{ij} - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{ij} (O_{ij} - \bar{O})^2 \sum_{ij} (P_{ij} - \bar{P})^2}} \quad (8)$$

全モニタリング地点の時間変化予測と観測値を比較して、NMSE と PCC を算出する。NMSE は完全に一致するとゼロとなり、PCC の場合は 1 となる。

5. 3 データ処理

Fig. 4 にデータ処理の全体像を示す。本システムは基本的に PC 端末上で、

- ① ネームリストの作成
- ② 並列計算サーバへのデータ転送
- ③ MPI-GEARN の実行
- ④ 実時間可視化システムの実行
- ⑤ 統計処理計算
- ⑥ クライアント側への推定結果の転送
- ⑦ 端末上での結果出力

まで一貫して GUI 操作によって扱えるよう設計されている。また、MPI-GEARN は統計処理プログラムと連動しており、ユーザーは並列計算サーバ側へジョブを投げると、最終結果である端末上での図形出力可能なフォーマットのデータのみが返ってくるようシステム化されている。従って、実際には多量のデータを扱い大変に複雑な作業をしているにもかかわらず、ユーザーの負担を軽減し、簡単で迅速な実行環境を実現している。なお、GUI は Java で構築されており、Web ブラウザから呼び出して使用する。実時間可視化システムや結果の図形出力 GUI 等、現段階ではまだ開発途中ではあるものの、近く実現可能な機能として示した。

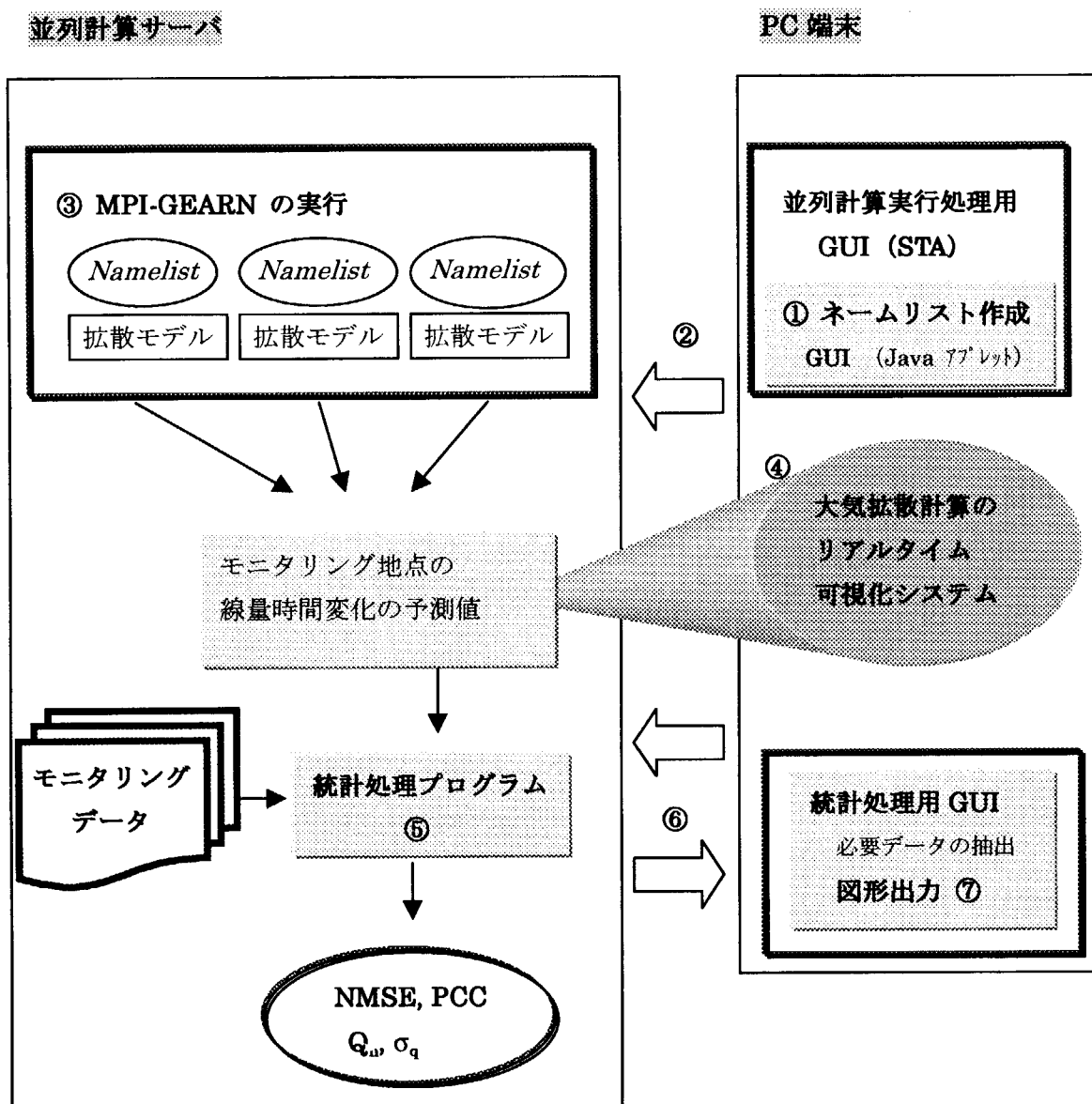


Fig.4 データ処理の流れ

6. 検証実験による性能評価

国内のモニタリングポストの複数で異常を検出し、かつ国内サイトから事故の通報がないような場合には、国外からの放射能の流入が考えられる。このような緊急時が実際に起こったという前提で放出源推定システムの検証実験を行う。起動手順で述べた実際の処理と異なるのは本来観測されるべきレセプタ情報を、予め WSPEEDI を用いた仮想的なシミュレーション計算によって作成することである。求める放出源情報は放出地点、放出開始時間、放出継続時間、及び放出率とし、仮想模擬実験の処理は、①WSPEEDI によるモニタリングデータの作成 ②推定システムの作動（大気輸送計算・統計解析） ③評価、の順序で行う。

6. 1 観測されるべきモニタリングデータの作成

観測データを作成するために、まず放出源情報（放出地点、放出開始時間、放出継続時間）を設定し、これらを初期条件として大気拡散計算を実行する。以下、放出源情報の選定のルールを説明する。

近隣諸国の原子力施設は韓国、北朝鮮、中国、台湾に存在するが、この実験では朝鮮半島での事故を想定し、現在 6 箇所ある施設から隣接するものを除いた 4 地点（Uljin、Wolsong、Yonggwang、Yngbyon）の候補から仮の放出地点 1 箇所を選定する。また、放出開始時間については 1997 年 4 月 8 日 10 時から 1997 年 4 月 11 日 10 時までの 3 日間のうちから 10 分単位で、また、放出継続時間については 4 時間を最大とし 1 分単位でランダムに決定する。以上、ここではすべて乱数により放出源情報が自動生成されるようにプログラミングを行った。ユーザーが予め観測データを認知することは、推定計算を行う上で好ましくないとの配慮による。これらの放出源情報から大気拡散計算を実行し、観測データを作成する。

以下に選ばれた放出源情報を示す。

放出源情報	
1) 放出地点	: Yongbyon
2) 放出開始時間	: 1997 年 4 月 9 日 17 時 40 分
3) 放出継続時間	: 48 分
4) 放出率	: 単位放出 (1Bq/hour)

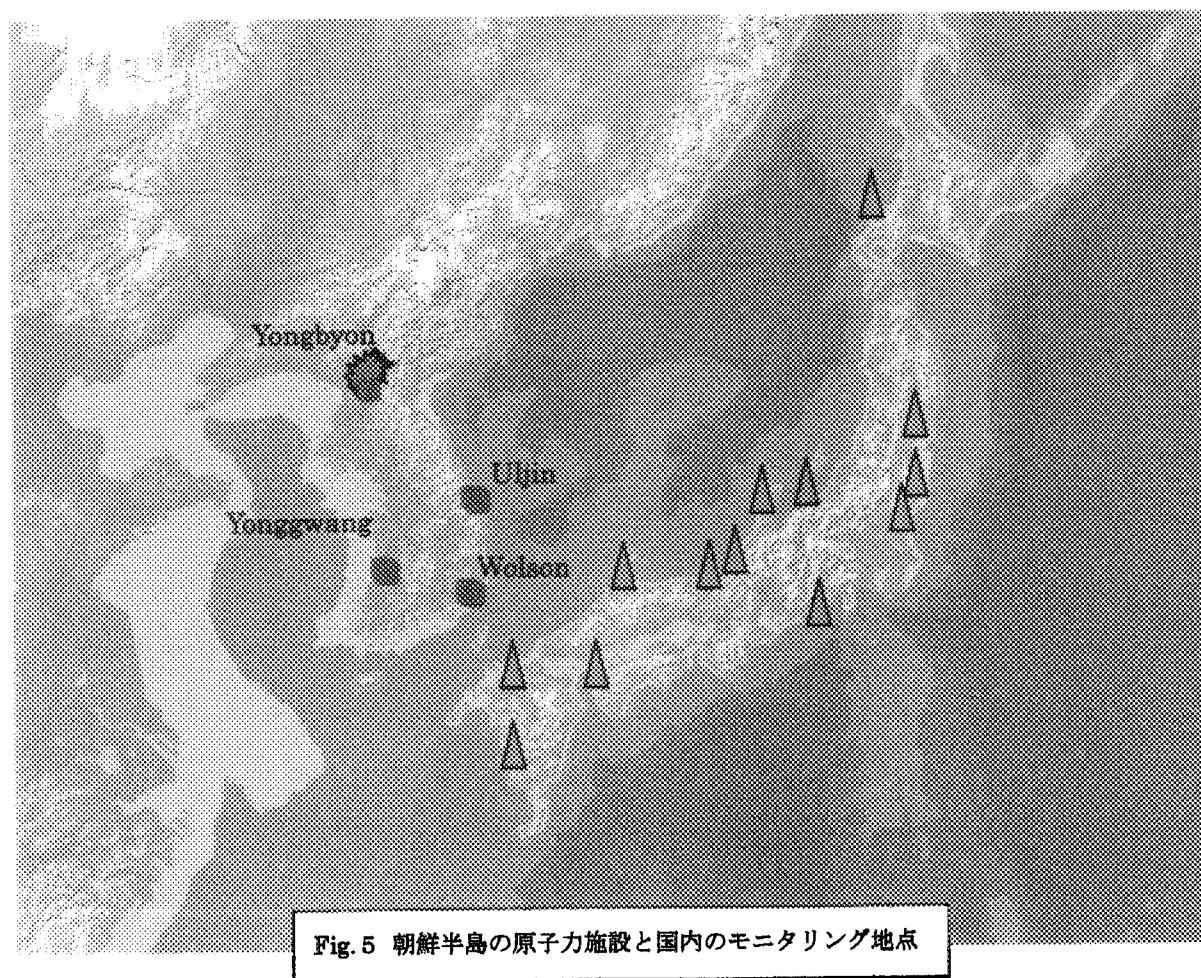
6. 2 推定システムの作動

- 1) 最初に、気象庁の数値予報データを基に WSYNOP を使って風速場データを作成する。
- 2) MPI-GEARN を使って候補となる放出源情報から複数の大気輸送計算を同時実行する。このとき大気輸送計算の初期条件として与える放出源情報としては放出地点、放出開始時刻、放出継続時間の3つであり、これらの各パラメータに対する候補は以下のように与えることにする。なお、放出率は単位放出と仮定する。

放出地点	: 4 ケース Uljin、Wolsong、Yonggwang、Yongbyon
放出開始時刻	: 73 ケース 1997, 4/8, 10:00 ~ 4/11, 10:00 (3日間)、単位 (YYMMDD,HHMM) 970408 1000、1100、1200、…、~ 970411 1000 (1時間毎)
継続時間	: 16 ケース 15分、30分、45分、…、~ 4時間 (15分間隔)

6.3 実験結果と評価

朝鮮半島で原子力事故が発生したという前提で放出源推定システムの検証実験を行った。国内の環境モニタリングによる観測データをもとに大気輸送計算と統計解析を組み合わせることで放出源情報を推定する。下の図は朝鮮半島における原子力施設（青色のボックス）と日本国内のモニタリング地点（オレンジ色の△）の位置を表している。



This is a blank page.

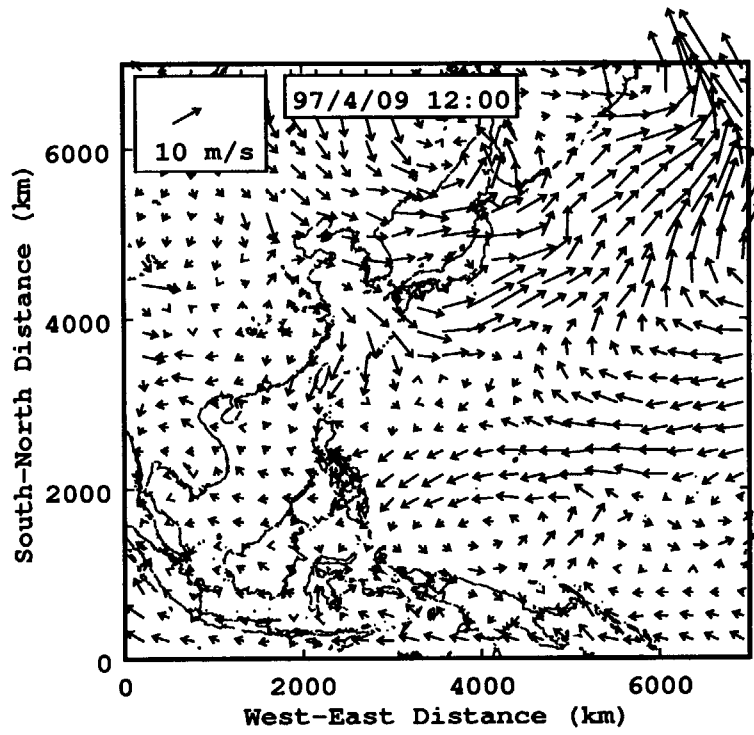


Fig.6 4/9 12:00 の風速場

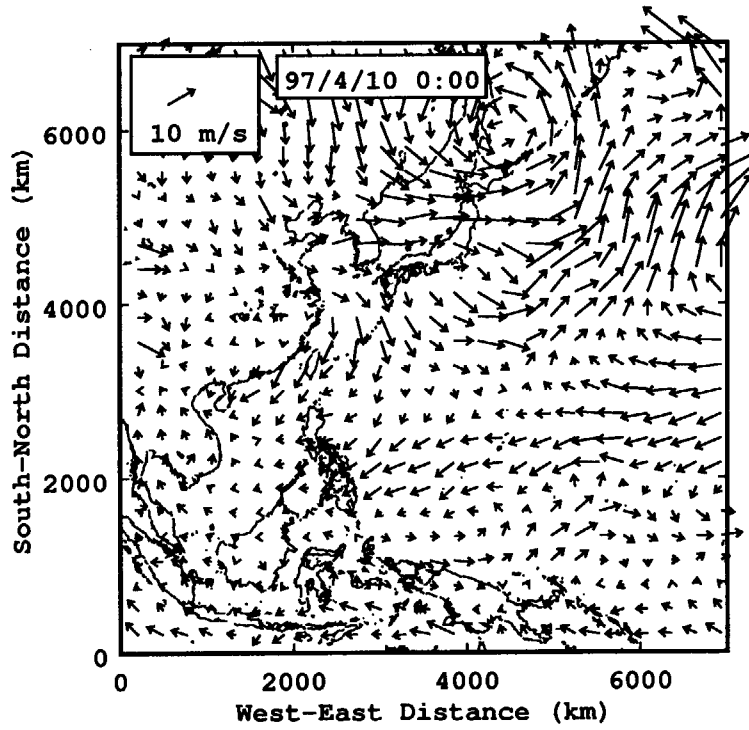


Fig.7 4/10 0:00 の風速場

推定システムは2段階 (step 1→ step2) で実行する。

① **Step 1** ;

ステップ1では継続時間を1時間に固定した上で、放出地点・放出開始時刻の推定を行う。まず候補となる放出地点、放出開始時刻をもとに推定放出源情報 (ネームリストファイル) を作成する。GUI を使うので一度に大量のデータを短時間で作成することが可能である。ここでは6.2で示したように放出地点候補は4ケース、放出開始時刻が73ケースとするので、合計292ケースの異なる放出源情報を作成する。次に、MPI-GEARNを並列計算機上で走らせ、作成した放出源情報を初期条件として292ケースすべての大気拡散シミュレーションを実行する。各ケースの計算結果については、そのまま自動的に統計解析処理を実行し、モニタリング地点での時系列空気吸収線量率の予測値と観測値からNMSE、PCCの統計量を算出し、GUIを使ってグラフ表示される。最終的にユーザーはグラフ表示された情報から、予測結果とモニタリング結果の最も一致度の高いケースの放出地点、放出開始時刻を推定結果とする。

候補パラメータ (計292ケース) ;

放出地点 : 4ケース (Uljin、Wolsong、Yonggwang、Yongbyon)

放出開始時刻 : 73ケース (1997 4/8 10:00 ~ 1997 4/11 10:00)

放出継続時間 : 固定 (1時間)

Fig. 8、9はステップ1におけるNMSE、PCCの結果である。NMSE、PCC共に国内13個所のサンプリング地点で計算し、その算術平均をとったものを表している。放出地点別にグラフ表示している。NMSEはゼロに近いほど一致度は高く、PCCは1に近いほど観測値と一致していることを表す。横軸はネームリスト番号で、候補として与えた放出開始時刻が対応している。例えば横軸の1番は放出開始時刻が1997 4/8 10:00のケースであり、以下ケース番号が増えるにつれて1時間ずつ遅くらせて放出開始時刻を与えている。NMSE、PCCのどちらも同じ結果を表しており、よってステップ1の結果として放出地点と放出開始時間を以下のように決定する。

ステップ1の結果 ;

放出地点 : **Yongbyon**

放出開始時刻 : **1997 4/9 18:00 (case 33)**

4 候補の放出地点 (Uljin, Wolsong, Yonggwang, Yongbyon) に対し、放出開始時刻 73 ケースの大気拡散計算を行った結果である。放出継続時間はすべて 1 時間に固定している。

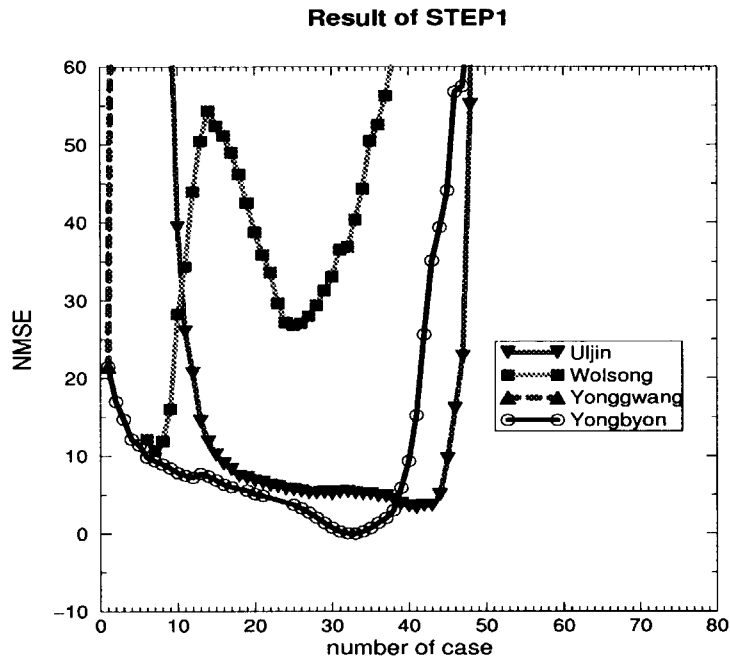


Fig.8 STEP1 における NMSE の結果

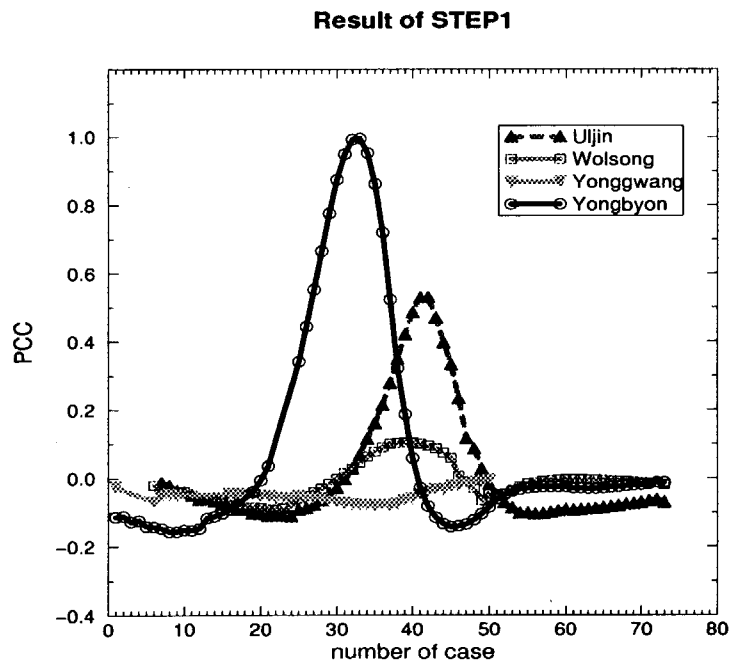


Fig.9 STEP1 における PCC の結果

② Step 2 ;

ステップ 1 の結果を受けて、放出継続時間の推定に移る。放出継続時間の候補は 6.2 で示したように 15 分間隔で与えた 16 ケースを用いる。放出地点は Yongbyon に固定し、放出開始時刻については、case 33 の 1997 4/9 18:00 に加えて前後の case 32、case 34 を合わせた 3 ケースを設定する。これは放出地点の方は原子力施設を想定しているので、ターゲットが離散的で特定し易い。他方、放出開始時刻の方は候補として選んだ時刻のインターバルに、曖昧さが必然的に存在するので、ステップ 1 の結果から前後のケースも同時に候補として選択する。

候補パラメータ (計 48 ケース) ;

放出地点 : **Yongbyon** (固定)

放出開始時刻 : 3 ケース (1997 4/9 17:00、18:00、19:00)

放出継続時間 : 16 ケース (15 ~ 240 分)

Fig.10,11 はステップ 2 における NMSE、PCC の結果である。共に放出開始時刻別にグラフ表示している。横軸はネームリスト番号であり、放出継続時間の候補に対応している。ネームリスト 1 番は放出継続時間 15 分のケースで、以後 30 分、45 分...、と番号が増すにつれて 15 分ずつ放出継続時間が長く設定されている。NMSE、PCC の結果共に、放出開始時刻が 18:00 のグラフは放出継続時間の推定結果として 15 分 (case1) を指し、さらに同程度の数値で、開始時刻が 17:00 のグラフが 120 分 (case8) を指している。ステップ 1 の結果から言えば放出開始時刻は 18:00 と推定していたのであるから、放出継続時間は単純に 15 分であると結論づけても良いのかもしれないが、その際の放出継続時間の推定精度は少なくとも放出開始時刻の設定オーダーにまで制限されてしまう。つまり放出開始時刻のずれが放出継続時間の推定結果にダイレクトに影響を与えている。ここでは放出開始時刻 17:00 と 18:00 のグラフが交差していることに注目し、且つそれぞれの指し示す統計量がほぼ等しいことから、以下のように判断する。

ステップ 2 における NMSE と PCC からの結果 ;

放出開始時刻 : **17:00~18:00**

放出継続時間 : **15 分~120 分 (case1 ~ case8)**

3 候補の放出開始時刻 (4/9 17:00, 18:00, 19:00) に対し、放出継続時間 16 ケースの大気拡散計算を行った結果である。放出地点は step1 の結果から Yongbyon に固定している。

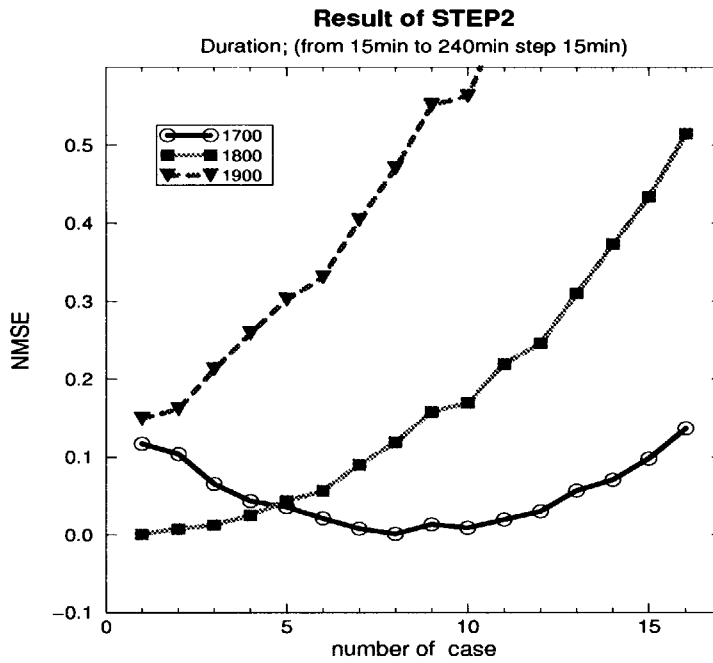


Fig.10 STEP2 における NMSE の結果

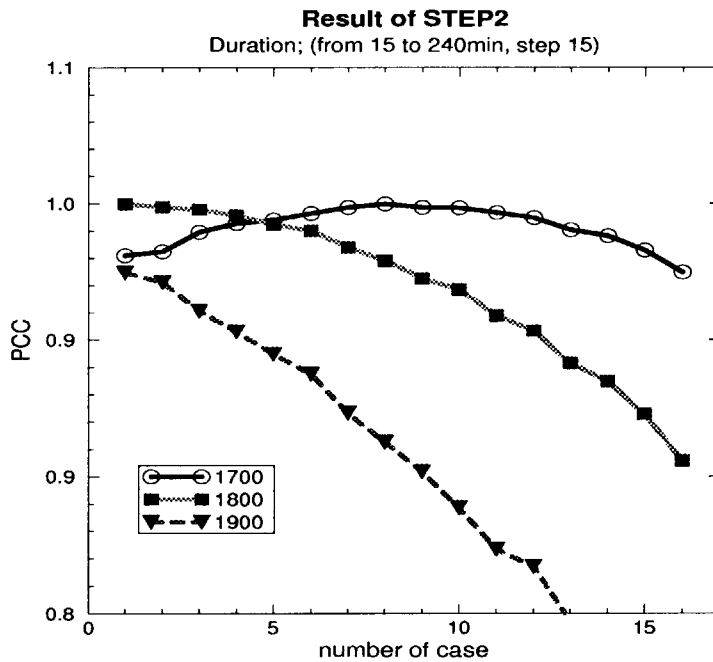


Fig.11 STEP2 における PCC の結果

次に、Minimum σq 法から放出継続時間を推定する。Fig.12、13 は国内 13 個所の各モニタリング地点での q 値（観測データとの空気吸収線量率の比）を表している。横軸は NMSE、PCC のグラフと同様にネームリスト番号であり、各ケースの放出継続時間が対応している。Fig.12 が放出開始時刻 18:00 のケースで、Fig.13 は 17:00 のケースである。Minimum σq 法は横軸のケース番号（放出継続時間）に対して、 q 値の最もばらつき（標準偏差）が小さいものを推定値と断する。Fig.12 の放出開始時刻 18:00 のケースでは、ネームリスト番号が小さい方が（1 に近づくほど）ばらつきが小さくなる傾向にある。これは先の NMSE、PCC の結果と一致している。また、Fig.13 の 17:00 のケースでは、やはり先の結果と同じ 8 番目のケースあたりが比較的小さいように見える。

q の分散値（ σq の 2 乗）を Fig.14 に示した。放出開始時刻の 3 つのケース（17:00、18:00、19:00）別にグラフ表示している。この図から判断すると、17:00 の場合ではあまり違いがはっきりしないが、8 番ではなく 10 番、12 番が最小である。また 18:00 の場合は 6 番のケースが最小である。この結果は 17:00 のケースはさておき、18:00 のケースは Fig.12 と矛盾している。そもそも Fig.14 では、ケース番号の小さい場合のデータが大きく振動している。これはサンプリング地点によっては測定感度が低く誤差の大きい値を含んでいることが原因と考えられる。Fig.10 で上のほうに少し見えているがケース 1 番から 4 番のところでもオーダーの違う q 値を持つデータが入り込んでおり、そのために分散の値が乱されている。本来であれば観測地と予測値の誤差が大きくなりやすい低位量のモニタリング地点は取り除いておくことが理想であるが、システム的に自動処理するには経験的なノウハウが必要であり、現状では対応できていない。従って Minimum σq 法から敢えて判断すると、以下のような結果となる。

ステップ 2 における Minimum σq 法による推定結果；

放出開始時刻： 17:00～18:00

放出継続時間： 180 分以内（～case12）

放出地点が Yongbyon、放出開始時刻が 4/9 18:00 及び 17:00 のときの、放出継続時間 16 ケースに対する大気拡散計算の結果である。国内 13 箇所の各サンプリング地点別に q 値を示している。

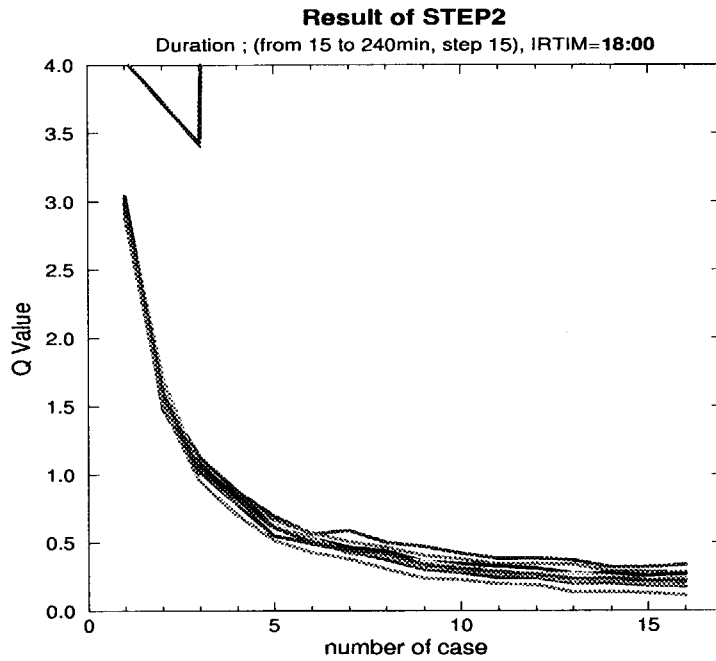


Fig.12 STEP2 における q 値の結果 (放出開始時刻 18:00)

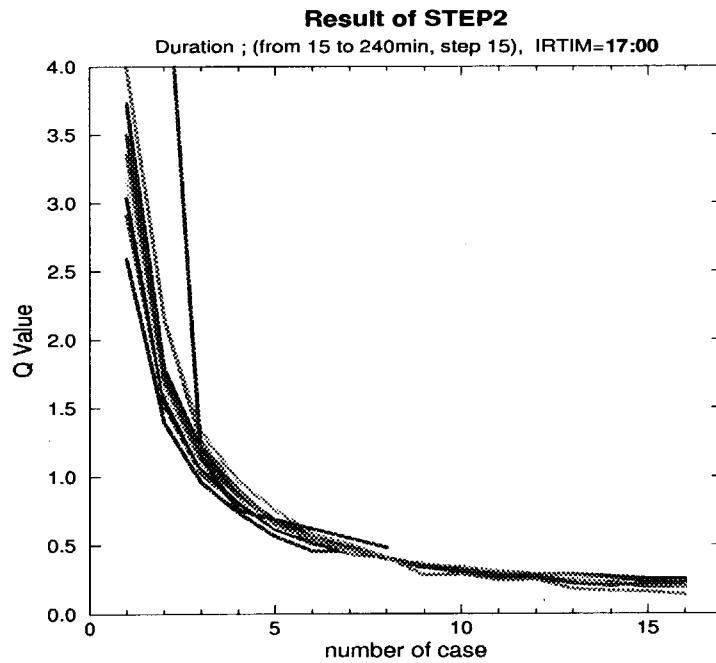


Fig.13 STEP2 における q 値の結果 (放出開始時刻 17:00)

また下図は、放出地点が Yongbyon で、3 候補の放出開始時刻 4/9 17:00,18:00,19:00 に対する放出継続時間 16 ケースの大気拡散計算の結果である。放出開始時刻別に国内 13 箇所の全サンプリング地点で求めた q の分散値を示している。

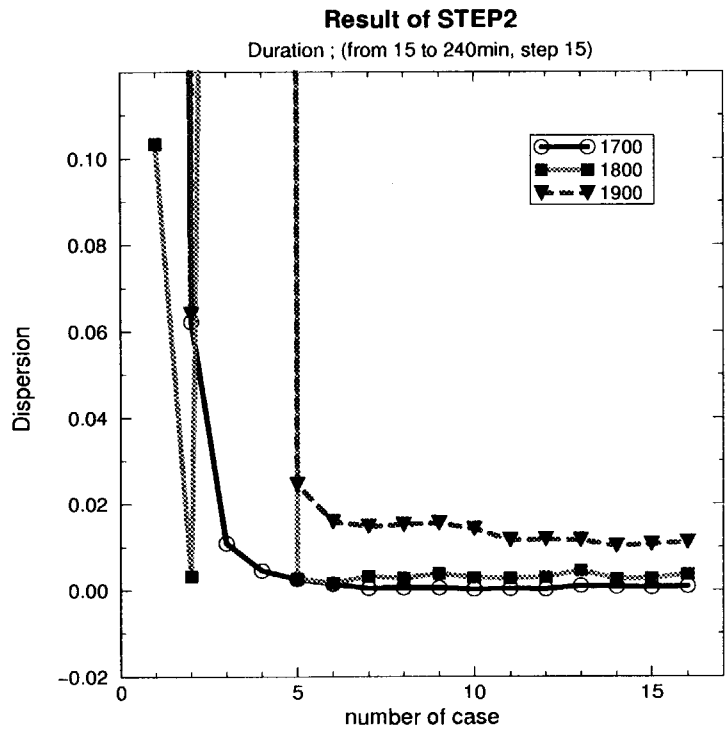


Fig.14 STEP2における q の分散値

推定結果

Step1、Step2 の 2 段階の放出源推定計算を行った結果、最終的に以下に示すような推定結果を得た。本検証実験の解である（6.1 で予め求めた）事故情報も並べて示す。なお、放出量は単位放出（1Bq/hour）を仮定しているので放出継続時間から求まる。

<事故情報>;

放出地点 : Yongbyon
放出開始時刻 : 1997 4/9 17:40
放出継続時間 : 48 分
放出量 : 0.8 Bq

<推定結果>;

放出地点 : Yongbyon
放出開始時刻 : 1997 4/9 17:00~18:00
放出継続時間 : 15 分~120 分
放出量 : 0.25~2.0 Bq

7. 今後の課題

本報告書の中でこれまで述べてきたが、本システムはネットワークの通信制御に関する部分、結果のグラフ表示制御用 GUI、及び実時間可視化システムの導入が未完成である。これらを随時取り込んで連携させていくことが本推定システムをより充実させるものと認識している。その上で、さらに今後の課題として、ここでは次の3点を明示する。

1) ETEX データによるシステムの検証

今回、実行例として挙げた模擬実験では、システムの動作確認とその有効性が確認できた。我々としては期待通りの満足のゆく結果であった。ただ、この模擬実験で使用している観測データ（レセプタ情報）は、シミュレーション計算による結果であり本来の実データではない。今後はまず最優先の課題として実際の観測データを使った、より現実的な状況の下での推定システムの検証を行う予定である。実データには、人工トレーサガスによるヨーロッパ広域拡散実験 ETEX (European Tracer Experiment) ^[2]のデータを使い、放出源推定システムの検証を行う。

2) システムの初動時における候補パラメータの設定

現在のシステムでは放出源候補として近隣諸国の原子力施設を想定して構築している。この範疇であれば、盲目に主だったすべての施設を放出地点の候補としてもせいぜい十数箇所程度であり、今後導入予定の実時間可視化システムを有効に使えるれば計算量も軽減でき、十分な対応が可能である。しかしながら、想定される候補数は少なくできることに越したことはない。国内に限らず他の地域で使用する場合や核実験にも対応できる用途の汎用性、並びに推定計算に所要する時間の短縮等を求めると、システムの初動時に候補となるパラメータの設定範囲はある程度の目安が必要であり、また可能な限り少なく絞り込むことが精度の向上につながる。山澤^[3]は本システムとは別に、同じく WSPEEDI を応用した新たな放出源推定手法の開発を行った。レセプタ情報を入力とする逆大気輸送計算によるモデルで、レセプタ側から風ベクトルを逆に（風上に）溯れば放出点に到達する、という発想で開発されたものである。この逆計算モデルと本システムを組み合わせるにより、候補パラメータを限定することができ、推定計算の効率化と精度を向上させた放出源推定システムの構築が可能となる。

3) サンプル濃度を対象とした放出源推定法の整備

今回開発した放出源推定システムでは、過去のチェルノブイル事故の時と同様に、まず常時リアルタイムモニタリング行っている観測点において空気吸収線量率の異常が検知されることを前提としている。但し空気吸収線量率は、放出核種が複数の場合にそれら全体の寄与の積算であることから、核種ごとの放出量を推定する事は困難である。原子炉事故時にまず大量に希ガスが放出

される事を想定すれば、事故の初期段階で本システムを用いることによって空気吸収線量率を指標に希ガス放出量を推定することは可能だが、より詳細な環境放出量評価のためには、一定期間の空気サンプリングを室内分析して得られる大気中の放射能濃度を新たな指標として用いる必要がある。ここでの難しさは、地点ごとにサンプリング期間がさまざまであり、これらを考慮しながら濃度計算を行う点にあるが、重要な課題であり、今後、開発する予定である。

参考文献

- (1) 山澤弘実、茅野政道、永井晴康、古野朗子：日本原子力学会誌、39、881(1997)
- (2) JRC-Environmental Institute : The European Tracer Experiment , EUR 18413 EN, Ispra, Italy, (1998)
- (3) 山澤弘実：日本原子力学会誌、40、885 (1998)

This is a blank page.

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
物質質量	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 固有の名称をもつ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	
光度	ルーメン	lm	cd·sr
照射度	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
線量等量	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=0.1nm=10⁻¹⁰m
 1 b=100fm²=10⁻²⁸m²
 1 bar=0.1MPa=10⁵Pa
 1 Gal=1cm/s²=10⁻²m/s²
 1 Ci=3.7×10¹⁰Bq
 1 R=2.58×10⁻⁴C/kg
 1 rad=1cGy=10⁻²Gy
 1 rem=1cSv=10⁻²Sv

(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、1eVおよび1u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。
- E.C.協理理事会指令では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=10⁶ 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 ⁻¹	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	0.101972	2.77778×10 ⁻⁷	0.238889	9.47813×10 ⁻¹	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 ⁷	1	8.59999×10 ⁷	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
	1055.06	107.586	2.93072×10 ⁻³	252.042	1	778.172	6.58515×10 ²⁴
	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 ⁻²⁰	3.82743×10 ⁻²⁰	1.51857×10 ⁻²²	1.18171×10 ¹⁸	1

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)
 仕事率 1 PS (馬力)
 = 75 kgf·m/s
 = 735.499 W

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

緊急時における放射能放出源推定システムの開発