

JAERI-Data/Code

99-044



JP9950656



世界版緊急時環境線量情報予測システム
(WSPEEDI) モデルコード (Ⅱ)

— 広域用濃度・線量予測モデル GEARN —

1999年10月

古野朗子・茅野政道・山澤弘実

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

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の問合わせは、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、お申し越し下さい。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）で複写による実費領布を行っております。

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

世界版緊急時環境線量情報予測システム (WSPEEDI) モデルコード (II)

— 広域用濃度・線量予測モデル GEARN —

日本原子力研究所東海研究所環境科学研究部

古野 朗子・茅野 政道・山澤 弘実

(1999年9月7日受理)

世界版緊急時環境線量情報予測システム WSPEEDI の広域用 3次元濃度・線量予測モデル GEARN について、モデル方程式、コード内容、モデル使用法および関連情報をまとめた。GEARN は多数の粒子群をランダムウォーク法で追跡することで、放射性物質の移流・拡散を計算するモデルであり、質量保存則を満たす風速場を計算する診断型モデル WSYNOP からの 3次元風速場を入力として、地形を考慮した数千 km スケールの 3次元濃度分布、地表沈着量、公衆への被曝線量を計算する。モデルコードは並列ベクトル化されている。また、モデルコードは UNIX-OS であれば機種間の移行は容易であり、現在、VPP300、VPP500 および SUN ワークステーションで稼動している。

Worldwide Version of System for Prediction of
Environmental Emergency Dose Information (WSPEEDI) Model Code (II)

—Three-dimensional Atmospheric Dispersion Model for Synoptic Scale: GEARN—

Akiko FURUNO, Masamichi CHINO and Hiromi YAMAZAWA

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

(Received September 7, 1999)

This report describes model equations, model codes, usage and related information of a three-dimensional atmospheric dispersion model for regional scale, GEARN, comprised in Worldwide Version of System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information, WSPEEDI. GERAN is a particle random-walk model to calculate three-dimensional synoptic air concentrations, deposition and doses to the public using the input of meteorological data provided from a mass-consistent wind field model WSYNOP installed in WSPEEDI. The model code is vectorized and parallelized. The code can be transplanted easily between UNIX machines, and has been implemented on VPP300, VPP500 and SUN workstations.

Keywords: Numerical Model, Three-dimensional Air Concentration, Synoptic Scale, Regional, Random-Walk, GEARN, WSYNOP, Model Code Usage, Emergency Response System, WSPEEDI

目 次

1.	はじめに	1
2.	モデル方程式	1
2.1	座標系	1
2.2	大気中移流・拡散	2
2.3	大気中濃度	5
2.4	地表面沈着量	6
2.5	被曝線量	6
2.6	放射性崩壊	8
2.7	放出条件	10
3.	モデルコード	11
3.1	全体に関連する定義	11
3.2	計算全体の流れ	15
3.3	ファイル構成	17
3.4	モジュールの解説	18
4.	使用方法	53
4.1	計算資源	53
4.2	ディレクトリ構造	53
4.3	入出力ファイル	54
4.4	使用手順	65
5.	まとめ	67
	参考文献	68

Contents

1. Introduction	1
2. Model Equations	1
2.1 Coordinate System	1
2.2 Atmospheric Dispersion	2
2.3 Air Concentration	5
2.4 Deposition	6
2.5 Radiological Doses	6
2.6 Radioactive Decay	8
2.7 Release Condition	10
3. Model Code	11
3.1 Global Definition	11
3.2 General Flow	15
3.3 Files	17
3.4 Description of Modules	18
4. Usage	53
4.1 Computational Resources	53
4.2 Directory Structure	53
4.3 Input / Output files	54
4.4 Execution	65
5. Summary	67
References	68

1. はじめに

本報告書は、世界版緊急時環境線量情報予測システム WSPEEDI (Worldwide Version of System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information)^{1),2)}の広域用3次元濃度計算モデル GEARN について、モデル方程式、コード内容、モデル使用法および関連情報をまとめたものである。

WSPEEDI は、世界中の任意の地点からの放射能の大気中放出を対象として、1,000km四方から半球の範囲内での大気中濃度分布、沈着量、および線量の分布の予測計算を迅速に行う機能を持つ。WSPEEDI の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 から構成される。また、気象データ収集変換、地図データ編集、モデル計算の実行、計算結果の管理、図形出力等の支援機能を担うソフトウェア群も整備されている。この中で、GEARN は多数の粒子群をランダムウォークモデルで追跡することで、放射性物質の移流・拡散を計算するモデルであり、質量保存則を満たす風速場を計算する診断型モデル WSYNOP からの3次元風速場を入力として、地形を考慮した数千 km スケールの3次元濃度分布、地表沈着量、公衆への被曝線量を計算する。

GEARN は、その前身である SPEEDI³⁾の大気拡散モデルをベースに、1)広域に対応するための地図投影水平座標の導入、2)地形を考慮するための地形準拠 z^* 座標系の導入、3)大気の鉛直構造を考慮した鉛直拡散係数の使用、4)広域を対象とする際に合理的な水平拡散を得るための拡散係数の精査等の改良によって得られたモデルである。さらに、適応機種を広げるためのモデルコードの UNIX 対応化、他の WSPEEDI ソフトウェア群とのデータの整合性を取るための共通入出力ルーチンの採用、および計算時間短縮のためのモデル改良と並列化がなされている。

2. モデル方程式

2.1 座標系

WSPEEDI の予測計算を行う広域用3次元濃度・線量計算モデル GEARN 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。保存方程式は、解析空間(直行座標系空間)の水平距離ではなく、実空間の距離で物理量を保存しているため、解析空間での距離を用いた保存方程式を導出し、これを解く必要がある。ここで、地図投影による歪み m (投影後の距離 / 実距離) を、

$$m(x_m, y_m) = \frac{dx_m}{dx_r} = \frac{dy_m}{dy_r} \quad (1)$$

と表す。添え字 m は解析空間、 r は実空間を表す。モデル方程式は実空間での保存関係を表しているため、その中に現われる水平微分は、

$$\left(\frac{\partial}{\partial x}\right)_r = m \left(\frac{\partial}{\partial x}\right)_m, \quad \left(\frac{\partial}{\partial y}\right)_r = m \left(\frac{\partial}{\partial y}\right)_m \quad (2)$$

によって、置き換えられる。モデルおよびシステムで共通に用いる座標系は、ランベルト正角円錐図法（中緯度用）、ポーラステレオ図法（極周辺あるいは半球用）、およびメルカトル図法（低緯度用）である。WSPEEDI で用いる投影法については、文献 4) の 3.2 節に詳細に記述されている。モデルの水平座標 (x_m, y_m) は、直交座標系である。地図投影原点においては、 x 軸は緯線、 y 軸は経線と平行になり、それぞれ東向き、北向きが正である。

鉛直座標は、地形を考慮するため、次式で表される地形準拠 z^* 座標系を採用している。

$$z^* = (z - z_g) / h, \quad h = (z_t - z_g) / z_t \quad (3)$$

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。パラメータ h は、地形準拠座標系による鉛直方向の歪み（実地抜高度 / 地形準拠座標系高度）を表しており、地図座標系の m の逆数と似た意味合いを持つ。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_m, y_m, z^*) 座標を用いた解析空間は直方体となる。以下は、簡単化のため、 (x_m, y_m, z^*) を (x, y, z^*) とする。

2.2 大気中移流・拡散

GEARN では、水平方向に地図座標系、鉛直方向に地形準拠座標系の直方体空間 (x, y, z^*) で、以下の移流拡散方程式を数値計算により解く。

$$\frac{\partial C_m^*}{\partial t} = -u_m \frac{\partial C_m^*}{\partial x} - v_m \frac{\partial C_m^*}{\partial y} - w^* \frac{\partial C_m^*}{\partial z^*} + \frac{\partial}{\partial x} (K_{x,m} \frac{\partial C_m^*}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_{y,m} \frac{\partial C_m^*}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z^*} (K_z^* \frac{\partial C_m^*}{\partial z^*}) \quad (4)$$

ここで、

- C_m^* : 本座標系での仮濃度 (Bq/m³)
- u_m, v_m : 地図座標系上での水平風速ベクトル (m/s)
- w^* : 地形準拠座標系での鉛直風速ベクトル (m/s)
- $K_{x,m}, K_{y,m}$: 地図座標系上での水平拡散係数 (m²/s)
- K_z^* : 地形準拠座標系での鉛直拡散係数 (m²/s)

上式中の C_m^* は、実際の濃度 C と $C_m^* = (hC/m)$ の関係にある。

WSPEEDI の風速場計算モデル WSYNOP から供給される風速の 3 成分は、実空間での水平風速ベクトル (u, v) と地形準拠座標系での鉛直風速ベクトル w^* である。 (u_m, v_m) と

(u, v) は、

$$(u_m, v_m) = m(u, v) \quad (5)$$

の関係にある。また、地図座標系上での水平拡散係数と実空間での水平拡散係数 $(K_{x,r}, K_{y,r})$ の関係は、

$$(K_{x,m}, K_{y,m}) = m^2 (K_{x,r}, K_{y,r}) \quad (6)$$

地形準拠座標系での鉛直拡散係数と、実空間での鉛直拡散係数 K_z の関係は、

$$K_z^* = \left(\frac{1}{h}\right)^2 K_z \quad (7)$$

で表される。

解法としては、オイラー型の差分解法は用いず、この方程式を記述できるような多数の粒子群によるラグランジェ的手法を用いる。すなわち、

$$\left. \begin{aligned} x_{i+1} &= x_i + u_m \Delta t + R_{x,m} \\ y_{i+1} &= y_i + v_m \Delta t + R_{y,m} \\ z_{i+1}^* &= z_i^* + w^* \Delta t + R_{z^*} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

ここで、

x, y, z^* : 粒子の位置(m)

Δt : 時間ステップ(s)

$R_{x,m}, R_{y,m}$: 地図座標系上での水平拡散項(m)

R_{z^*} : 地形準拠座標系での鉛直拡散項(m)

(8)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。拡散項については、

- (1)1つの時間ステップ内の水平拡散範囲で水平拡散係数の勾配がない、
 - (2)鉛直拡散係数は高度依存性がある、
- と仮定すると、

$$\begin{aligned}
 R_{x,m} &= \sqrt{2K_{x,m}\Delta t} R_n \\
 R_{y,m} &= \sqrt{2K_{y,m}\Delta t} R_n \\
 R_{z^*} &= \left(\frac{\partial K_z^*}{\partial z}\right)\Delta t + \sqrt{2K_z^*\Delta t} R_n
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

ここで、 R_n は、標準偏差 1 の一様乱数である。上式は、計算コード内では、 $K_{x,m}=K_{y,m}=K_{h,m}$ を仮定し、さらに変形して次式の形でプログラム化されている。

$$R_x = R_y = \sqrt{24K_{h,m}\Delta t} (0.5 - R(0)), \tag{10}$$

$$R_z^* = \frac{\partial K_z^*}{\partial z^*} \Delta t + \sqrt{24K_z^*\Delta t} (0.5 - R(0)) \tag{11}$$

ここで、 $R(0)$ は 0~1 までの乱数である。水平拡散係数 K_h は、以下の Gifford⁵⁾ の長距離拡散に対する水平拡がり幅 σ を用いて、 $K_h = (1/2)(d\sigma_h^2/dt)$ の式から求める。

$$\sigma_h^2 = 2K_L t + \frac{v_0^2}{\beta^2} (1 - e^{-\beta t}) + \frac{K_L}{\beta} (-3 + 4e^{-\beta t} - e^{-2\beta t}) \tag{12}$$

ここで t は粒子の浮遊時間、 K_L は大規模スケールの渦拡散係数、 v_0 は粒子の初速、 β は時間スケールの逆数を示す。Gifford によると $K_L = 10^4 \text{ m}^2/\text{s}$ 、 $v_0 = 0.15 \text{ m/s}$ 、 $\beta = 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ である。

K_z^* の分布は、風速絶対値の関数として以下のように決定する。

$$K_z^* = \frac{1}{2h^2} \frac{dr}{dt} \frac{d\sigma_z^2}{dr} = \frac{|\mathbf{u}| \sigma_z}{h^2} \frac{d\sigma_z}{dr} \approx \frac{|\mathbf{u}|}{h^2} f_L \leq 50 \text{ m}^2/\text{s}. \tag{13}$$

拡散係数の上限値は計算の便宜上決めた値である。 f_L は高度 500 m 以下（大気境界層）では 20.0、1000 m 以上（自由大気）では 0.37、両者の中間域（遷移層）では 1.2 としている。

沈着による放射性物質の大気からの除去については以下の式で表わす。乾燥沈着による粒子の持つ放射エネルギーの減少率は、

$$\frac{dq_n}{dt} = -kv_g q_n \quad (14)$$

$$k = \frac{2}{\Delta z} \left(1 - \frac{z_p}{\Delta z}\right) \quad (15)$$

ここで、

- q_n : 粒子 n の放射エネルギー(Bq)
 v_g : 沈着速度(m/s)⁶⁾
 z_p : 粒子の地上高度(m)
 Δz : 鉛直セル最下層の厚さ(m)

乾性沈着には、鉛直セルの最下層に存在する粒子のみが寄与すること、寄与率は地上からの距離 z_p とともに減少することの二つが仮定されている。これらを加味した寄与率が k である。 v_g は核種によって決まる沈着速度であり、たとえば ^{137}Cs では 0.001m/s である。

一方、降雨がある場合は、降雨洗浄による粒子の放射エネルギーの減少率を

$$\frac{dq_n}{dt} = -\Lambda q_n \quad (\Lambda = \alpha \gamma^\beta) \quad (16)$$

で考慮する。ここで Λ は洗浄率⁷⁾であり、降水量 (mm/h) の関数である。 α 、 β は核種に依存する係数である。乾燥及び降雨沈着による粒子放射能の地表沈着率(Bq/s)は

$$q_d = \left(-\frac{dq_n}{dt}\right)_{dry} + \left(-\frac{dq_n}{dt}\right)_{wet} \quad (17)$$

で求められる。

2.3 大気中濃度

出力時間幅 ΔT 間の平均濃度 C_{ijk} (Bq / m^3) は、各粒子の持つ放射能の各セルへの寄与を積分して求める。

$$C_{ijk} = \frac{\tau}{V_{ijk}} f_{m^*} \sum_{m=1}^M \left[\sum_{n=1}^N (b_{n,ijk} q_n \Delta t) \right] / \Delta T \quad (18)$$

ここで、

- C_{ijk} : 出力時間幅 ΔT 間のセル ijk の平均放射能濃度(Bq/ m^3)
 f_{m^*} : C_{m^*} の実濃度への換算係数で、 m_{ij}/h_{ij} である。
 V_{ijk} : セルの体積(m^3)

- τ : 放射性崩壊の補正 (詳細は 2.6 節)
 M : ΔT 間のステップ数
 N : 対象セル及び隣接セルに含まれる粒子数
 $b_{n,ijk}$: 対象セルへの粒子放射能 q_n の分配割合

分配割合 $b_{n,ijk}$ は、粒子がセルと同じ体積をもつと仮定し、対象セルと重なる部分の体積をセルの全体積で除して求める。体積は $V_{ijk} = \Delta x \Delta y \Delta z$ で定義される。

2.4 地表面沈着量

出力時間幅 ΔT 間の地表面積算沈着量は下式により計算される。

$$C_{g,ij} = \frac{\tau}{S_{ij}} m_{ij} \sum_{m=1}^M \left[\sum_{n=1}^N (b_{d,n,ij} q_d \Delta t) \right]_m \quad (19)$$

ここで、

- S_{ij} : 地上第 1 層セルの接地面積 (m^2)
 $C_{g,ij}$: 出力時間幅 ΔT 間の地上第 1 層セルの接地面への放射能沈着量 (Bq/m^2)
 $b_{d,n,ij}$: 対象セルへの粒子放射能 q_n の分配割合
 q_d : 乾燥沈着及び降雨洗浄により地上第 1 層セルの接地面に沈着した放射エネルギー (Bq)

分配割合 $b_{d,n,ij}$ は、 $b_{n,ijk}$ に準じている。接地面積は $S_{ij} = \Delta x \Delta y$ で定義されている。

2.5 被曝線量

出力される被曝線量の種類は以下のとおりである。単位は、防災対策指針⁸⁾ (p1034) によっている。

- 1) 空気吸収線量率 ($\mu Gy/h$) : モニタリングデータとの比較に用いる。放出量が不明な場合を考えて、核種毎の空気吸収線量率が出力されるとともに、全核種からの積算値も出力される。線量値には、地表沈着核種からの寄与も含む。
- 2) 外部被曝線量当量 (mSv) : 防災対策の目安線量 (文献 8) p1027) に用いる。放出量が不明な場合を考えて、核種毎の外部被曝線量当量が出力されるとともに、全核種からの積算値も出力される。また、年齢別 (大人、小児、幼児) に出力される。線量値には、地表沈着核種からの寄与も含む。
- 3) 内部被曝線量当量 (mSv) : 防災対策の目安線量に用いる。内部被曝は呼吸による被曝に限り、核種毎の実効線量当量、及び決定臓器に対する臓器線量が出力される。これらは、年齢別 (大人、小児、幼児) に出力される。なお、飲食物摂取制限に関する指標については、緊急性や精度を考慮し、モニタリングに委ねるものとする。

各被曝線量の計算式は以下の仮定のもとに作られている。

- ・ 空気吸収線量率及び外部被曝線量当量については、サブマージョンモデルとする。
- ・ 地表からの被曝は無限均一線源を仮定する。
- ・ 内部被曝線量については、サブマージョンモデルを用いる。
- ・ 安全審査指針等の手法にとらわれずできるだけ最新の研究成果を活用する。

1) 空気吸収線量率

空気吸収線量率は下式により計算される。

$$D_{rate,ij} = df_{rate,air} C_{ij1} + df_{rate,gr} C_{gt,ij} \quad (20)$$

ここで、

$D_{rate,ij}$: γ 線による空気吸収線量率 (μ Gy/h)

$df_{rate,gr}$: 大気中濃度の空気吸収線量率換算係数 ($(\mu$ Gy/h)/(Bq/m³)⁹⁾)

$df_{rate,air}$: 地表沈着量から地上 1.5 m の空気吸収線量率換算係数 ($(\mu$ Gy/h)/(Bq/m²)⁹⁾)

右辺第 1 項は放射性雲からの被曝線量、第 2 項は地表沈着放射能からの被曝線量である。第 2 項の $C_{gt,ij}$ は、放出開始からの地表沈着量であり、(19) 式の値を時間積分したものである。文献 9) では、短半減期の希ガス (^{83m}Kr, ⁸⁹Kr, ⁹⁰Kr, ^{131m}Xe, ¹³⁷Xe, ¹³⁹Xe) 及び ¹³⁶I, ¹⁰⁶Ru, ¹¹⁵Cd については換算係数が記載されていないので、0.0 としている。これは、外部被曝線量換算係数についても同様である。

2) 外部被曝線量

出力時間幅 ΔT (s) 間の外部被曝線量は下式により計算される。

$$D_{ext,ij} = (df_{ext,air} C_{ij1} + df_{ext,gr} C_{gt,ij}) (\Delta T / 3600) \quad (21)$$

ここで、

$D_{ext,ij}$: 出力時間幅 ΔT 間の γ 線による年齢別の外部被曝線量 (mSv)

$df_{ext,air}$: 大気中濃度の年齢別の外部被曝線量換算係数 ($(mSv/h)/(Bq/m^3)$)⁹⁾)

$df_{ext,gr}$: 地表沈着量から地上 1.5 m の年齢別の外部被曝線量換算係数 ($(mSv/h)/(Bq/m^2)$)⁹⁾)

第 1 項は放射性雲からの被曝線量、第 2 項は地表沈着放射能からの被曝線量である。文献 9) の年齢構成は成人, 7 歳, 0 歳である。

3) 内部被曝線量

出力時間幅 ΔT (s) 間の呼吸による内部被曝線量は下式により計算される。

$$D_{in,ij} = df_{in} IC_{ij1} (\Delta T / 3600) \quad (22)$$

ここで、

$D_{in,ij}$: 出力時間幅 ΔT 間の呼吸による実効線量当量または臓器線量(mSv)

df_{in} : 内部被曝線量への換算係数(mSv/Bq)¹⁰⁾

l : 呼吸率(m³/h)¹¹⁾

線量換算係数は、核種と年齢で定義され、実効線量当量と臓器線量の2種類の換算係数を持つ。文献 10) (ICRP71) では、線量換算係数が粒径別、化学系別にテーブル化されているが、ここでは粒径については公衆に対する被曝線量計算のための推奨値である粒径 1 μm 、化学系分類は最大被曝をもたらすものを用いた。但し、よう素は元素、 Te はガスまたは蒸気を仮定した。決定臓器は、換算係数が最大となる臓器を選んだ。文献 10)に記載されていない核種については以下の出典である。⁹⁰Y, ⁹¹Y, ¹²⁷Te, ¹¹⁵Cd については、ICRP30¹²⁾から上記と同様の仮定で選んだ。ただし、実効線量当量への換算係数は ICRP72¹³⁾から選んだ。

ICRP71 と 72 のデータに不整合はないが、ICRP30 は職業人に対するの 50 年線量であるのに対して、ICRP72 は公衆に対する年齢別 (3 ヶ月、5 歳、成人のデータを使用) の 70 年線量が示されているため、意味が異なる。なお、安全評価指針集で示される換算係数は ICRP30 を流用しているため本モデルの換算係数とは異なる。

混合ガス (希ガスまたはヨウ素) の線量換算係数の計算法は以下のとおりである。被曝線量計算については、放出核種として希ガスまたはヨウ素が指定された場合、それぞれを構成する核種 (希ガス 15 核種、ヨウ素 7 核種) の存在比 (シャットダウンからの経過時間で変化する) に応じた線量換算係数が用いられる必要がある。例として、希ガスの放射性雲からの空気吸収線量率換算係数 $df_{rate,air,noble}$ は以下のように計算する。

$$df_{rate,air,noble} = \sum_{n=1}^N \left[\left(f_{0,n} e^{-\lambda_n t} / \sum_{n=1}^N f_{0,n} e^{-\lambda_n t} \right) df_{rate,air,n} \right] \quad (23)$$

ここで、

$df_{rate,air,n}$: 希ガス構成核種 n の空気吸収線量率換算係数 ((μ Gy/h) / (Bq/m³))⁹⁾

N : 希ガス構成核種数 (=15)

$f_{0,n}$: シャットダウン時点での核種組成比率 (15 核種の合計が 1)

λ_n : 希ガス構成核種 n の崩壊定数 (s⁻¹)

右辺の () 内は、任意時刻における希ガス構成核種 n の組成比率を示している。

2.6 放射性崩壊

(1) 粒子が持つ放射能に対する崩壊補正

粒子が持つ放射能は、出力時間幅 (ΔT) 経過毎に、崩壊による ΔT 後の放射能の減衰率

τ_b を放射エネルギーに乗ずることで減衰させる。

(2) 空間濃度に対する補正

出力期間 ΔT 内の平均空間濃度は、(1)の ΔT 間の減衰補正以前の粒子放射エネルギーにより計算される。そのため、 ΔT 経過毎に、 ΔT 間の時間平均崩壊率 τ_a を平均空間濃度に乗ずることで、崩壊補正を行う。

(3) 沈着量に対する補正

出力期間 ΔT 内の積算沈着量は、空間濃度計算と同様に減衰補正以前の粒子により計算される。これと計算開始時点の沈着量を合計した後、2種類の減衰補正計算を行う。第1は、 ΔT 間の時間平均減衰率 τ_a を沈着量に乗ずる補正で、この値は沈着放射能からの外部被曝計算に用いる。第2は、崩壊による ΔT 後の放射能の減衰率 τ_b を沈着量に乗ずるもので、これは沈着量分布出力用のデータとなる。

(4) τ_a, τ_b の計算法

1) 混合ガス (希ガスまたはヨウ素)

放出核種として希ガスまたはヨウ素が指定された場合、それぞれを構成する核種 (希ガス 15 核種、ヨウ素 7 核種) のシャットダウンからの経過時間で変化する存在比に応じた減衰率を、崩壊補正に用いる必要がある。例として、希ガスに対する τ_a, τ_b は下式で計算する。

$$\tau_a = \frac{\sum_{n=1}^N f_n e^{-\lambda_n t_s} (e^{\lambda_n \Delta T} - 1) / (\lambda_n \Delta T)}{\sum_{n=1}^N f_n e^{-\lambda_n (t_s - \Delta T)}} \quad (24)$$

$$\tau_b = \sum_{n=1}^N f_n e^{-\lambda_n t_s} / \sum_{n=1}^N f_n e^{-\lambda_n (t_s - \Delta T)} \quad (25)$$

ここで、 t_s はシャットダウンから ΔT 直後までの時間 (s) である。 τ_a の右辺の分子の f_n 以下は、

$$\int_{t_s - \Delta T}^{t_s} e^{-\lambda_n t} dt / \Delta T = -\frac{1}{\lambda_n \Delta T} \left[e^{-\lambda_n t} \right]_{t_s - \Delta T}^{t_s} = e^{-\lambda_n t_s} (e^{\lambda_n \Delta T} - 1) / (\lambda_n \Delta T) \quad (26)$$

で求められる。

2) 単一核種

希ガス、ヨウ素以外の単一核種名が放出核種として入力された場合には、 τ_a, τ_b は単純に下式で計算できる。

$$\tau_a = \frac{1}{\Delta T} \int_0^{\Delta T} e^{-\lambda_n t} dt = -\frac{1}{\lambda_n \Delta T} \left[e^{-\lambda_n t} \right]_0^{\Delta T} = \frac{1}{\lambda_n \Delta T} (1 - e^{-\lambda_n \Delta T}) \quad (27)$$

$$\tau_b = e^{-\lambda_n \Delta T} \quad (28)$$

2.7 放出条件

(1) 放出率データ

単位放出：放出量が不明な場合の入力である。モデルは、希ガスとヨウ素 1 Bq/h の定常放出の継続を仮定する。構成核種の組成比率はシャットダウンからの経過時間とともに変化する。そのため、シャットダウン直後に放出される 1 Bq/h の希ガスは、シャットダウン後、時間が経ってから放出される希ガス 1 Bq/h よりも短半減期核種を多く含むため、放射性崩壊による減衰が大きいことになる。単位放出を仮定する場合には、上記の他に、十分に放射能が混合した炉内空気が一定期間定常放出される放出率 (m³/h) と仮定する場合もある。この時、スタックでの希ガスの放出率(Bq/h)は、一定ではなく崩壊により徐々に減少する。両仮定はどちらかが優れているというものではないが、モニタリング値から放出率を逆推定できるという観点から、第 1 の方法を GEARN では採用している。

変動放出：ステップ状に放出率の時間変動を与えることができる。ステップの幅は任意であり、モデルは時間ステップ内で一定の放出率を仮定する。

(2) 放出源形状

点源放出をデフォルトとするが、任意の柱状放出も仮定できる。例えばチェルノブイル事故初期の鉛直方向への高い吹き上げは、縦長の柱状線源として近似できる。

(3) 対象核種

計算モデルには、最大 5 核種まで入力できる。GEARN で計算できる核種として核種情報ファイルにデータが登録されているのは、下表の 60 核種である。

^{83m}Kr, ⁸⁵Kr, ^{85m}Kr, ⁸⁷Kr, ⁸⁸Kr, ⁸⁹Kr, ⁹⁰Kr, ^{131m}Xe, ¹³³Xe, ^{133m}Xe, ¹³⁵Xe, ^{135m}Xe, ¹³⁷Xe, ¹³⁸Xe, ¹³⁹Xe, ¹²⁹I, ¹³¹I, ¹³²I, ¹³³I, ¹³⁴I, ¹³⁵I, ¹³⁶I, ³H, ⁴¹Ar, ⁸⁹Sr, ⁹⁰Sr, ⁹⁰Y, ⁹¹Y, ⁹⁵Zr, ⁹⁵Nb, ⁹⁹Mo, ¹⁰³Ru, ¹⁰⁶Rh, ¹¹⁵Cd, ¹²⁵Sb, ¹²⁷Sb, ^{127m}Te, ¹²⁷Te, ^{129m}Te, ¹²⁹Te, ^{131m}Te, ¹³²Te, ¹³⁴Cs, ¹³⁶Cs, ¹³⁷Cs, ¹⁴⁰Ba, ¹⁴⁰La, ¹⁴¹Ce, ¹⁴⁴Ce, ²³⁴U, ²³⁵U, ²³⁸U, ²³⁸Pu, ²³⁹Pu, ²⁴⁰Pu, ²⁴¹Pu, ²⁴¹Am, ²⁴²Cm, ²⁴⁴Cm

はじめの 15 核種は希ガス構成核種、次の 7 核種はヨウ素構成核種であり、これらは単一核種として入力できるほか、混合ガスとして NOBLE (希ガス) または IODINE (ヨウ素) というグループ化した名前での入力も可能である。これらの核種選択は、米国の安全評価コード CRAC2¹⁵⁾で対象としている核種および被曝線量換算係数が整備されている核種に基づいているが、文献中のすべての核種を対象にしているわけではない。また、非放射性的安定ガスの代表として、拡散実験などで利用される SF₆ も入力可能である。

3. モデルコード

3.1 全体に関連する定義

(1) 格子の定義

現在 GEARN で定義している最大メッシュ数は水平方向 99、鉛直方向 21 であり、INCLUDE ファイル内で陽に設定している（最大メッシュ数 IPMX=IPMY=99、セル数 IPCX=PCY=98）。鉛直方向のメッシュ数は変更できないが、水平方向に関しては 99 以内であれば変更できる。但し WSYNOP のメッシュ数と一致していることが前提条件であり、WSYNOP の格子点数が 3 の倍数に限定されているため、この点には留意しなければならない。Table 1 に、計算格子に係わる変数の一覧を示す。

実際のメッシュ数の定義は地形データの読み込みの際に行われる。

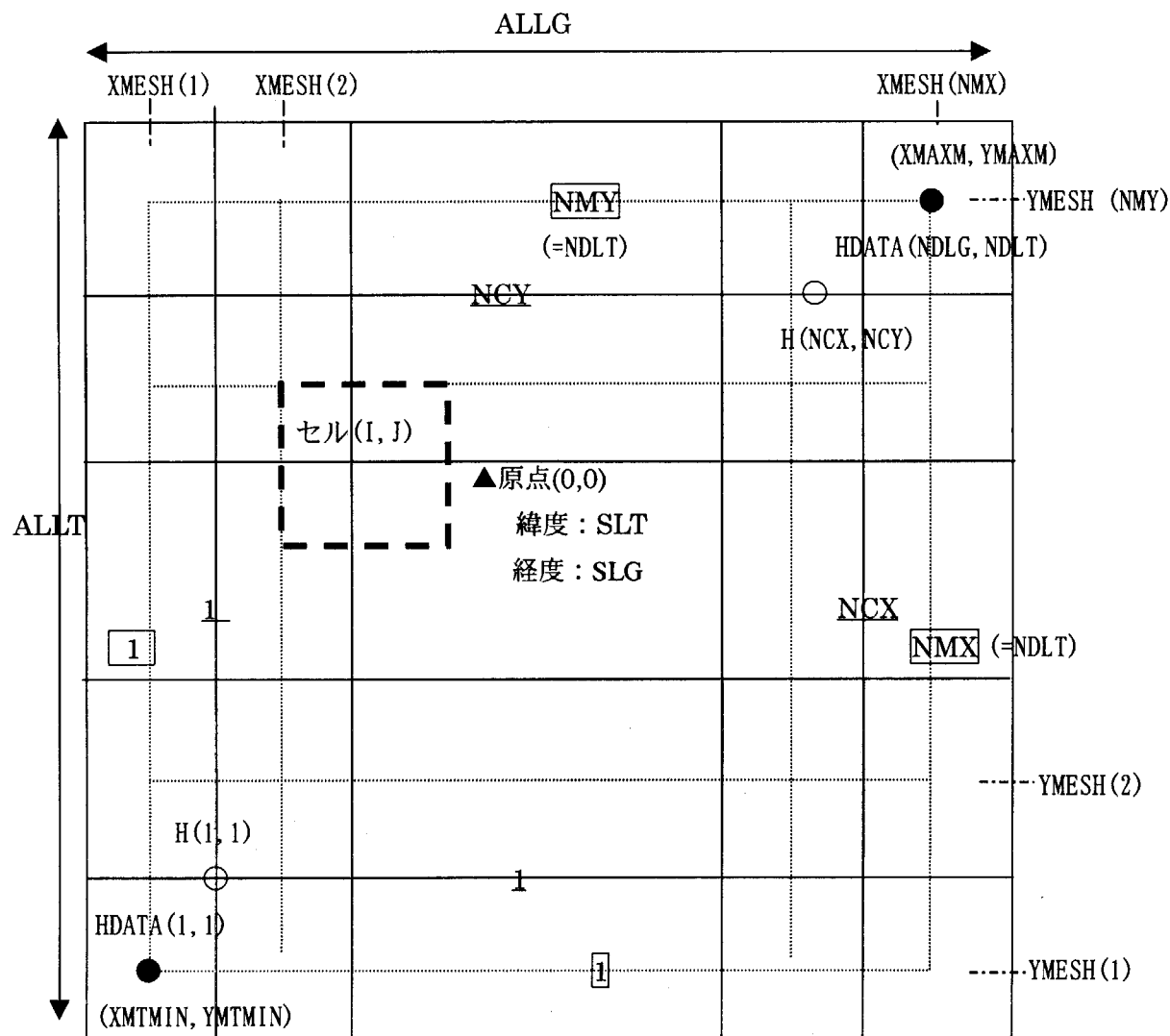
Table 1 計算格子と、計算格子に関連する配列を持つ主要変数の定義

	変数名	内容
配列定義	IPMX, IPMY IPCX, PCY, PCZ NCELX, NCELY, NCELZ	風速場データ格子用配列 IPMX=99, IPMY=99 濃度データ格子用配列 IPCX=98, PCY=98, PCZ=22 濃度データ数用配列 NCELX=97, NCELY=97, NCELZ=21
主な変数	NMX, NMY, NMZ XMTMIN, YMTMIN XMW, YMW XMAXM, YMAXM XMESH, YMESH, ZMESH WXC1, WYC1 WXC2, WYC2 NCX, NCY, NCZ	風速場データ数 風速場格子左下点(m) 風速場水平格子幅(m) 風速場格子右上点(m) 風速場格子点の座標(m) 風速場格子から-1/2 メッシュ移動した座標(m) 風速場格子から+1/2 メッシュ移動した座標(m) 濃度データ数
	HDATA H	地域データファイルから得られる標高データ Z*系に変換した演算子 [(3)式の h]
	US, VS, WS USN, VSN, WSN URYO RAM DKH	風速 3 成分(m/s) 同上 降水量(mm/h) 洗浄係数(s ⁻¹) 鉛直拡散係数(m ² /s)
	ASPC DASPC AIRDSA EXTDSA INTDSA	大気中濃度(Bq/m ³) 地表沈着量(Bq/m ²) 空気吸収線量率(μ Gy/h) 外部被曝線量(mSv) 内部被曝線量(mSv)

(2) 水平格子の定義

水平格子の定義を Fig. 1 に示す。地形データファイル topogra.data の中の標高データの個数は、地形データ設定ファイル map.data に記載されている ND LG 及び ND LT により定義される。

配列 HDATA には DPMAP により実標高が一旦格納されるが、その後 SUBROUTINE GRAND により「座標変換に伴う係数」 H が半メッシュずれた位置に格納される。Fig.2 には、主要な変数の定義点を示す。



(RZLG, RZLT)

—— 地図データ領域
 - - - - 計算対象領域

Fig.1 水平格子の定義

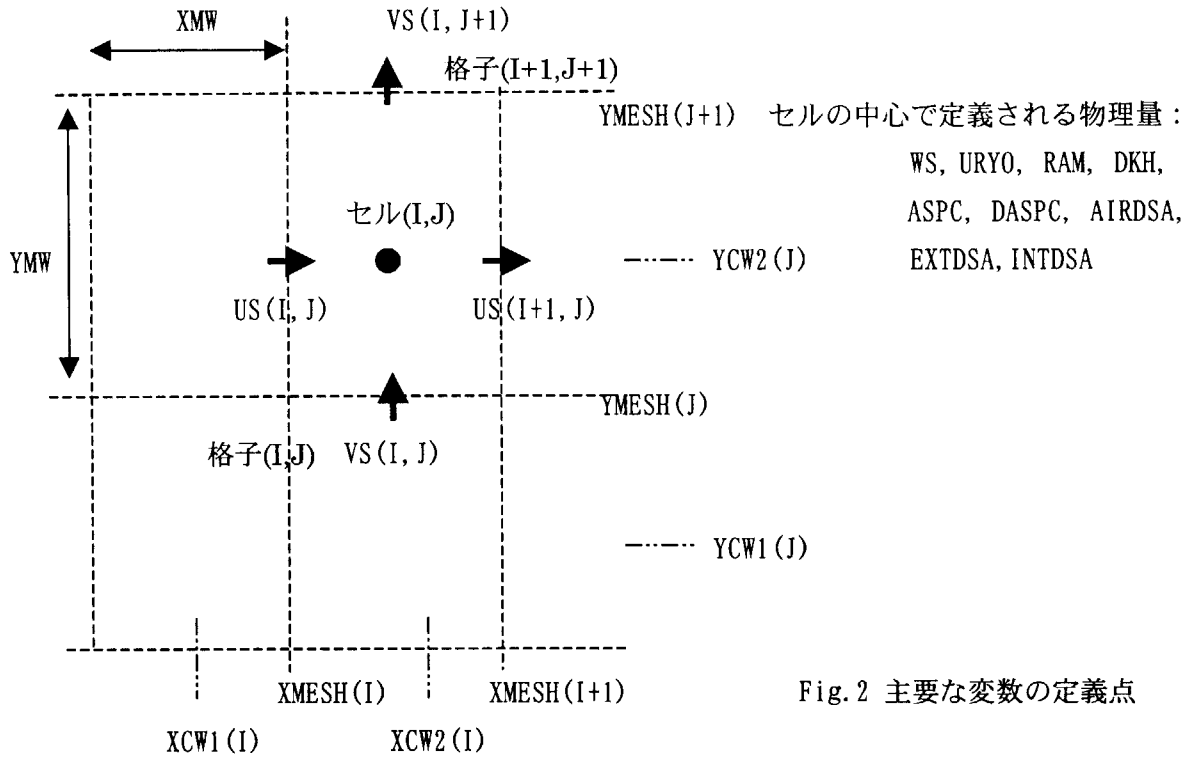


Fig. 2 主要な変数の定義点

(3) 鉛直格子の定義

鉛直格子の定義を Fig. 3 に示す。図の斜線の部分は地形を表す。モデルの座標系は地形準拠座標系であるため、実空間内でのモデル格子は地形の凹凸を反映している。ただし、実際に計算を行う (x,y,z^*) 空間では直方体の格子構造となる。

各鉛直格子の z^* 値 ZMESH は SUBROUTINE VMSSET の中で、パラメータ ZMAX 及び DZMIN を用いて計算される。ZMAX は計算対象領域の厚さ、DZMIN は地表面に接する層の厚さを表す。上端の第 NMZ 層は、ZMAX の幅をもっており、気象条件は NMZ-1 層と同じである。この層は、NMZ 面を上を抜ける粒子を吸収する役割をもつ。ただし、ZMESH(NMZ+1) では、 $w^*=0$ であり、粒子はこの層を抜けることはない。

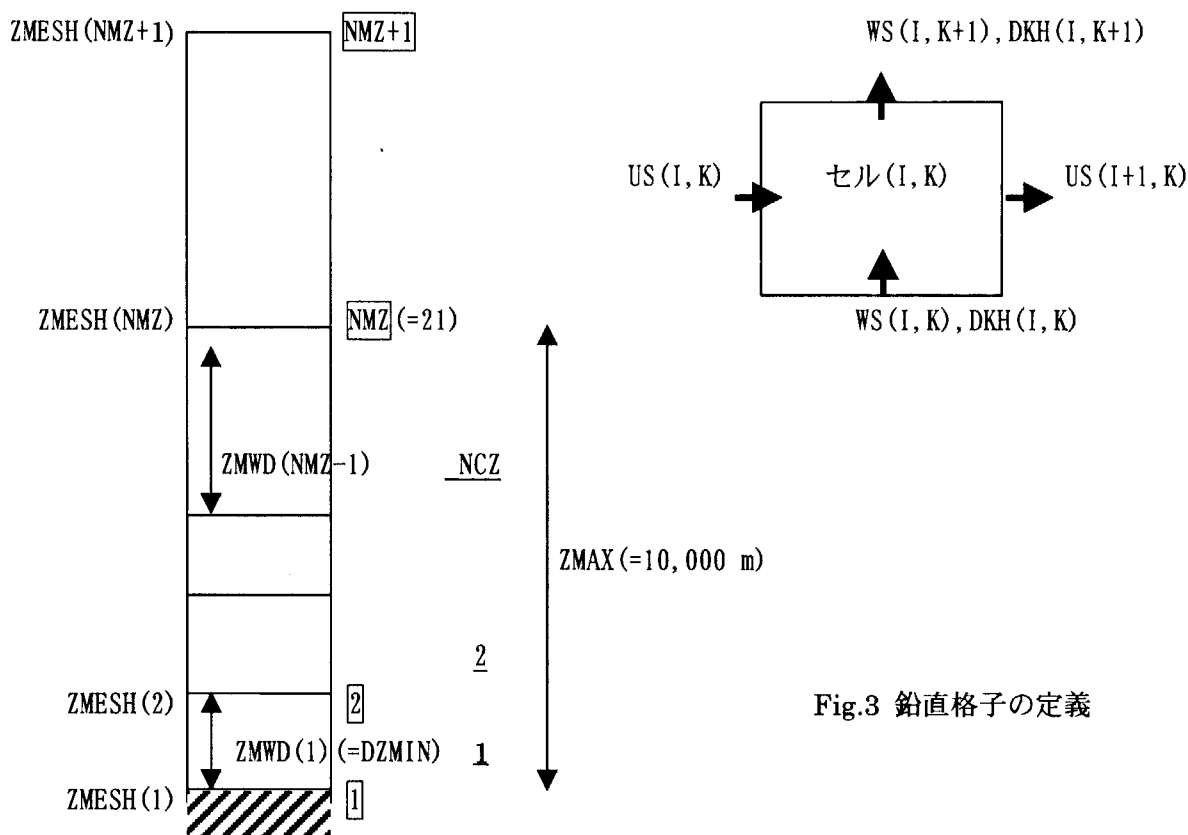


Fig.3 鉛直格子の定義

(4) 粒子に関する定義

	変数名	内容
配列定義	IPP	粒子データ用配列 IPP=40000
主な変数	MAXP TFULL NPLST Q X, Y, Z NSTL PDT IMX, IMY, IMZ WSPEW, WSPNS, WSPUD, WSPDZ UP, VP, WP	発生させる最大粒子数 最大粒子数を発生させるまでの経過時間(s) 現在の計算領域内の粒子数 粒子 I の放射エネルギー(Bq) 粒子 I の空間座標(m) 粒子 I が、境界層内か対流圏内かの指標 粒子 I の発生からの経過時間(s) 粒子 I が存在するセルの番号 粒子位置の風速 3 成分及び絶対値(m/s) 粒子 I の 1 ステップでの移動距離(m)

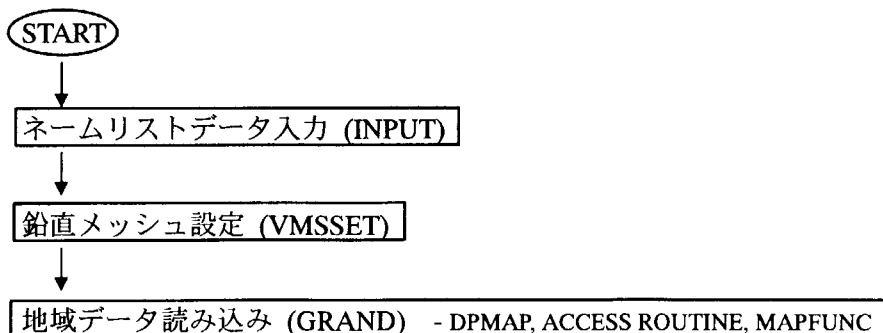
(5) 放射性核種に関する定義

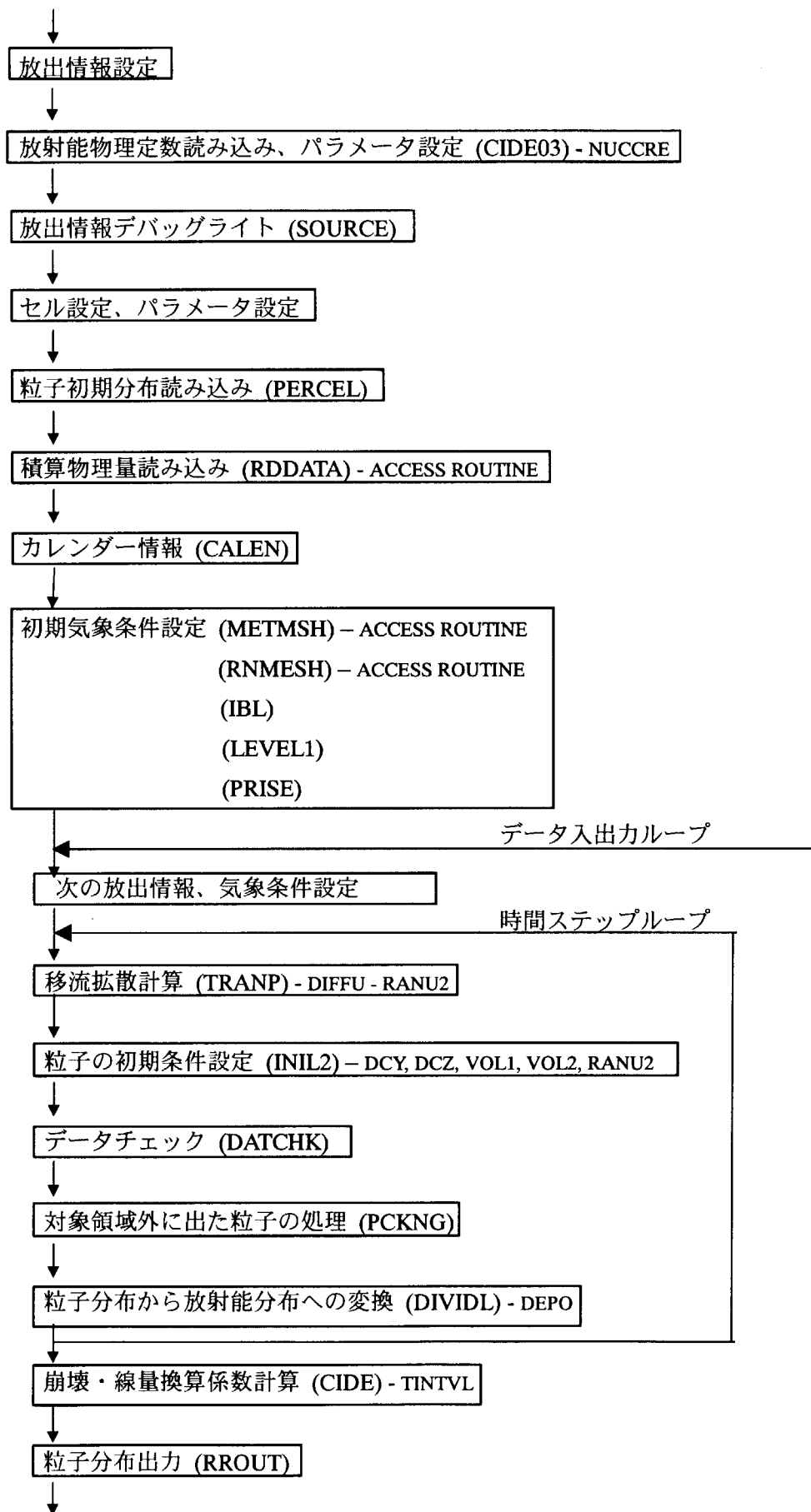
	変数名	内容
配列定義	NNOB, NIOD	対象とする希ガスとヨウ素の数 NNOB =15, NIOD =7
	NFPALL	対象とする全核種数 NFPALL = 60
	NFP	計算で同時に扱う核種数 NFP = 6
	NAGE	線量計算の際の年齢分類 NAGE = 3
	NORG	内部被曝線量計算の際の分類

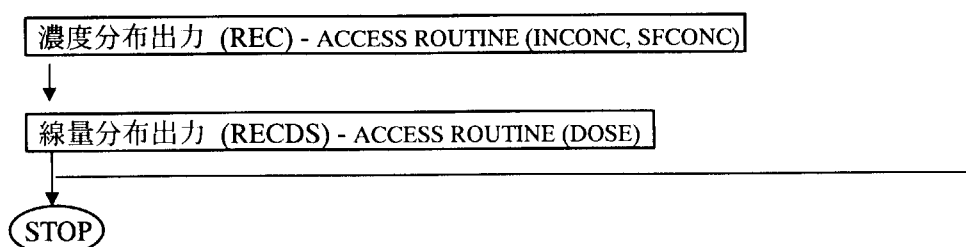
	NEOA	(実効線量、臓器線量) NORG = 2 NAGE*NORG NEOA = 6
主な変数	<p>RLMDN, CNVARN, CNVGDN, CNVEAN, CNVEGN, CNVIEN, CNVION, ORGANN</p> <p>RLMDI, CNVARI, CNVGDI, CNVEAI, CNVEGI, CNVIEI, CNVIOI, ORGANI</p> <p>RLMDF, CNVARF, CNVGDF, CNVEAF, CNVEGF, CNVIEF, CNVIOF, ORGANF</p> <p>NPNT</p> <p>NCLID, NAME, RRATE QRELN, QRELI</p> <p>RDCYA, RDCYB</p>	<p>(1)希ガスに関する定数。 崩壊定数、濃度から空気吸収線量率への換算係数、沈着量から空気吸収線量率への換算係数、濃度から外部被曝線量への換算係数、沈着量から外部被曝線量への換算係数、単位放射能から内部被曝線量(実効線量)への換算係数、単位放射能から内部被曝線量(臓器線量)への換算係数、決定臓器</p> <p>(2)ヨウ素に対する定数 (内容は同上)</p> <p>(3)その他の計算対象核種に対する定数 (内容は同上)</p> <p>放出核種の指標 1 = 希ガスグループ; 2 = 希ガス単一核種; 3 = ヨウ素グループ; 4 = ヨウ素単一核種; 5 = その他のγ線放出核種、6 = その他の非γ線放出核種</p> <p>計算対象核種数、核種名、放出率 希ガス及びヨウ素のシャットダウン時炉内組成比 放射性崩壊の補正係数 τ_a, τ_b</p>

3.2 計算全体の流れ

以下に全体の計算の流れを示す。図でサブルーチンから枝分かれして表示されているものは、そのサブルーチン内でコールされるもので、メインルーチンには現れない。計算流れの制御は、メインルーチンから実際に計算を行うサブルーチン群を順次コールすることによって行われる。メインルーチン内では、時刻に関する計算のみが行われる。







3.3 ファイル構成

WSPEEDI システム全般に共通な一部のモジュールを除き、ほとんどのサブルーチンはそのサブルーチン名が連想されるファイル名（サブルーチン名.f, サブルーチン名*.f等）で収録されている。多くのサブルーチンは、配列の大きさに関する定数の定義と大域的な変数の宣言を、インクルードファイルを用いて行っている。サブルーチンと機能の概要を Table 2 に示す。この他に、入出力ファイルとプログラムのインターフェイスをとるために、C 言語で記述されたアクセスルーチンと呼ぶプログラムがリンクされる。

Table 2 サブルーチンと機能の概要

名称	主な機能
AMAIN	メインプログラム
BLOCK DATA	ブロックデータ
CALEN	時間進行で 24 時を超えた時の日付処理（yymmddhhmmss を表す Character NTIMEC 用）。
CIDE	任意時刻の希ガス、ヨウ素グループの実効的な崩壊定数、線量換算係数の計算。
CIDE03	放射性核種の物理定数、線量換算係数などの読み込み。沈着速度の設定。対象核種のフラグ設定。
DATCHK	時間進行で 24 時を超えた時の日付処理（yymmdd を表す Interger IT1 用）。
DCY	Paquill Chart に基づく水平拡散係数（粒子の初期分布作成のため Sub. INIL2 で使用）。
DCZ	Paquill Chart に基づく鉛直拡散係数（粒子の初期分布作成のため Sub. INIL2 で使用）。
DEPO	地上 2 次元セルへの沈着放射エネルギーの計算と積算、及び粒子放射能からの沈着分除去。
DIFFU	粒子の拡散計算と 1 ステップでの移動距離の計算。
DIVIDL	時間ステップ毎の 3 次元セル内の放射エネルギーの計算と積算。
DPMAP	地形データの入力。
DTTOS	時刻を、0 時からの経過秒に換算。
GRAND	セルの中心での地図換算係数 m, 標高ファクタ h, 放出点の(x, y) 座標の計算。
IBL	境界層の設定。
INIL2	粒子移動の 1 ステップ (Δt) 間に新たに粒子を発生させるための処理。
INPUT	計算パラメータの入力および計算をコントロールする時間パラメータの初期設定。
ISTODT	0 時からの経過秒を時刻に換算。
LEVEL1	鉛直拡散係数の設定。

GLLCPI	(x, y)座標を、ランベルト図法で緯経度に変換。	} Mapfunc.f に一括保存。
GMERCI	(x, y)座標を、メルカトル図法で緯経度に変換。	
GPOLRI	(x, y)座標を、ポーラステレオ図法で緯経度に変換。	
GLLCPX	緯経度をランベルト図法で x 座標に変換。	
GLLCPY	緯経度をランベルト図法で y 座標に変換。	
GMERCX	緯経度をメルカトル図法で x 座標に変換。	
GMERCY	緯経度をメルカトル図法で y 座標に変換。	
GPOLRX	緯経度をポーラステレオ図法で x 座標に変換。	
GPOLRY	緯経度をポーラステレオ図法で y 座標に変換。	
METMSH	3次元風速場の入力。	
NUCCRE	入力した炉型、燃焼度に対するシャットダウン時の希ガス及びヨウ素の炉内組成比設定。	
PCKING	計算領域外に出た粒子を除外して、領域内の粒子にシーケンシャル番号を付け直す処理。	
PERCEL	継続計算の際に、計算開始時刻にすでに放出されている粒子の情報の読み込み。	
PRISE	放出点の気象条件と吹き上げ高度の計算。	
RDDATA	継続計算の際に、計算開始時刻までにすでに積算されている出力データの読み込み。	
REC	3次元セル内放射エネルギー及び2次元地表セル内沈着放射エネルギー、空間濃度と地表沈着量への変換及びファイルへの出力。	
RECDS	被曝線量計算とファイルへの出力。	
RNMESH	降雨データの入力と、セル毎の洗浄係数の計算。	
PRDECAY	粒子放射能に対する崩壊補正。	
RROUT	粒子の位置、放射エネルギーなどの途中出力 (デバッグ)。	
RSTOUT	粒子の位置、放射エネルギーなどの最終出力。	
SOURCE	放出核種の情報のプリント出力。	
TCNVLN	1年の開始からの経過時間 (h) (Sub. TINTVL 内でのみ Call される。)	
TINTVL	2つの年月日時分秒の間の時間(s)を計算。	
TRANP	粒子位置の風速を空間・時間内挿により計算。粒子の新しい位置を計算。	
VMSSET	鉛直格子の定義と、セル幅の計算。	
VOL1	体積線源の場合の粒子の水平分布を定義。	
VOL2	体積線源の場合の粒子の鉛直分布を定義。	

3.4 モジュールの解説

AMAIN

ソースファイル名 amain.f

主要な変数

参照	変数名	配列	内容
R	TSTEP		時間ステップ幅(s)
R	NPLST		粒子数

R	NBLOCK		初期・継続計算判定インデックス (0:初期計算、1:継続計算)
E	IDELS		現在時刻から次の放出情報を読むまでの時間 (s)
E	TNTEP		計算開始から現在までの経過時間(s)
R	TINT		計算開始を起点とした放出開始時刻(s)
E	RLEND		計算開始時刻を起点とした放出終了時刻(s)
R	NCLID		核種数
R	NAME	(NFP)	核種名
R	RRATE	(NFP)	核種毎の放出率(Bq/h)
R	NFP		核種に関する配列 (= 6 ; NFP-1 まで核種設定可)
R	ASPC	(IPCX, IPCY, NCELZ, NFP)	大気中濃度 (Bq / m ³)
R	DASPC	(IPCX, ICPY, NFP)	WIDRC 間の地表面沈着量 (Bq / m ²)
R	AIRDSA	(IPCX, ICPY, NFP)	空気吸収線量率 (μ Gy / h)
E	XMAXM		計算メッシュ右上点 x 座標 (m)
E	YMAXM		同 y 座標 (m)
E	WXC1		対象メッシュより半メッシュ分経度方向に進んだ点 (m)
E	WXC2		同 戻った点 (m)
E	WYC1		対象メッシュより半メッシュ分緯度方向に進んだ点 (m)
E	WYC2		同 戻った点 (m)
E	WIDMTS		計算開始から次に気象データを読み込むまでの時間 (s)
E	WIDRLS		同 出量データを読み込むまでの時間 (s)
E	WIDRCS		同 計算結果を出力するまでの時間 (s)
E	WINT		気象データ読み込み時刻から現在時間までの間隔 (s)
E	RATE		WINT/WIDMT。気象データの時間内挿パラメータとして用 いる。
E	RTIM		0 時を起点とした放出開始までの時間 (s)
E	DELT		粒子の放出間隔 (s)
E	IT1, IT2		現在時刻 (1 : YYMMDD, 2 : HHMMSS)
E	NTIMEC		現在の日時 (YYMMDDHHMMSS)
E	INTIM	(2)	現在時刻の整数型
R	WTIMEC		読み込みたい気象データの日時(YYMMDDHHMMSS)

計算の流れ

3.2 項の図に同じ

BLOCKDATA

ソースファイル名 cideb.f

機能概要

計算パラメータのデフォルト値を保存。これらのデータはネームリストで変更できるが、ネームリストで記述されなければ、この値が用いられる。

主な変数

参照	変数名	配列	内容
E	SIGH0, SIGZ0		放出源の寸法を決めるパラメータ。デフォルト値は0で、点源放出を意味する。
E	MAXP		放出粒子数の最大。デフォルトは40000個
E	TFULL		MAXP個の粒子が放出されるまでの時間(s)。デフォルトは43200 s
E	IWIDMT		気象データの入力間隔(HHMMSS)。デフォルトは60000
E	TSTEP1		計算の時間ステップ(s) デフォルトは120 s
E	TE, TS, WE, RADS		放出点周辺温度、排煙温度、吹上速度、口径。デフォルトは吹き上げ無しの条件になっている。
E	BOND	(2)	境界層高度、デフォルトは、境界層500m、遷移層1000m。
E	NS	(3)	大気安定度、境界層；弱不安定、遷移層：中立、対流圏：安定

CALEN(NTIMEC, WIDMT, WTIMEC)

ソースファイル名 calen.f

機能概要

日時 NTIMEC に、任意時間 WIDMT を加算したときの日時 WTIMEC を計算する。400年に1回、閏年にならない状態には対応していない。

引用関係

風速場のデータをファイルから入力する際に、入力対象時刻を計算するために、MAIN ROUTINE から引用される。

引用は無し。

引数

NTIMEC	入力	現在日時 (YYMMDDHHMMSS)
WIDMT	入力	加算する時間 (s)

WTIMEC 出力 加算後の日時(YMDDHHMMSS)

CIDE

ソースファイル名 cide.f

機能概要

入力された放出核種の出力時間間隔 WIDRC 間での減衰率を定義する。希ガスとヨウ素が入力された場合には、各々を構成する核種の減衰率を、CIDE03 で定義する構成核種の核種情報と核種組成比率を用いて定義し、それを用いて希ガス及びヨウ素としての線量換算係数と減衰率を計算する。

引用関係

MAINROUTINE から、WIDRC 経過毎に引用される。

崩壊量計算に必要な時間パラメータ計算のために TINTVL を引用する。

引数

無し。

ファイル関係

無し。

主な変数

参照	変数名	配列	内容
E	ITIME1	(2)	現在日(=1:YMDD), 時(=2:HHMMSS)を整数型で定義したもの。
E	IRTIM	(2)	放出開始日(=1:YMDD), 時(=2:HHMMSS)
E	ITIMR		放出開始から現在時刻までの時間差(s)
E	ISDTIM	(2)	シャットダウン日(=1:YMDD), 時(=2:HHMMSS)
E	ISTIM		シャットダウンから現在時刻までの時間差(s)
E	ISRTIM		シャットダウンから放出開始時刻までの時間差(s)
E	FISTIM0		シャットダウンから減衰率計算時間間隔の先頭時刻までの時間差(s)
E	FISTIM		シャットダウンから任意の減衰率計算時間間隔の後端時刻までの時間差(s)
E	TDEL		崩壊率計算間隔(s)
E	SQRELNO		(23)式右辺のカッコ内分母
E	SQRELN	(NNOB)	(23)式右辺のカッコ内分子
E	RDCYA	(NFP)	核種 I の、減衰率計算時間間隔内での崩壊による時間平均減衰率
E	RDCYB	(NFP)	核種 I の、減衰率計算時間時間間隔後端での崩壊による減衰率

E FACT (23)式右辺のカッコ内

CIDE03

ソースファイル名 cide03.f

機能概要

核種データファイルから、線量計算や崩壊計算に用いる対象 60 核種の核種情報（崩壊定数、線量換算係数）を入力し、放出情報として入力された放出核種の核種情報を定義する。希ガスとヨウ素が入力された場合には、各々を構成する核種の核種情報を定義するが、希ガス及びヨウ素としての核種情報は、構成核種の崩壊量により変化するため、ここで定義する構成核種の核種情報と核種組成比率を用いて、CIDE の中で時間幅 WIDERC 毎に定義する。非放射性ガスの代表として SF₆ が入力された場合、SF₆ の情報を定義する。放出核種の乾燥沈着速度、及び洗浄係数のパラメータを定義する。また、希ガスとヨウ素が入力された場合には、対象炉型、燃焼度の希ガスとヨウ素を構成する核種の核種組成比率を計算する。

引用関係

MAINROUTINE から、計算開始時に引用される。
核種組成比率の定義のために NUCCRE を引用する。

引数

無し。

ファイル関係

核種情報ファイル（機番 16）から読み込みを行う。

主な変数

参照	変数名	配列	内容
E	SPNAME		核種名
E	DECAY	(NFPALL)	核種 I の崩壊定数 (s ⁻¹)
E	CNVAR	(NFPALL)	核種 I の雲からの空気吸収線量率換算係数 ((nGy/h)/(Bq/m ³))
E	CNVGD	(NFPALL)	地表沈着核種 I からの空気吸収線量率換算係数 ((nGy/h)/(Bq/m ²))
E	CNVEA	(NFPALL, 3)	核種 I の雲からの年令別外部線量当量換算係数 ((nSv/h)/(Bq/m ³))
E	CNVEG	(NFPALL, 3)	地表沈着核種 I からの年令別外部線量当量換算係数 ((nSv/h)/(Bq/m ²))
E	CNVIE	(NFPALL, 3)	核種 I の呼吸による年令別実効線量当量換算係数 (Sv/Bq)

E	CNVIO	(NFPALL, 3)	核種 I の呼吸による年令別臓器線量当量換算係数 (Sv/Bq)
E	ORGAN	(NFPALL)	臓器線量当量の対象臓器
E	RLMDN	(NNOB)	希ガスを構成する核種 I に定義された崩壊定数 (s^{-1})
E	CNVARN	(NNOB)	希ガスを構成する核種 I に定義された雲からの空気吸収線量率換算係数 ($(nGy/h)/(Bq/m^3)$)
E	CNVGDN	(NNOB)	希ガスを構成する核種 I に定義された沈着からの空気吸収線量換算係数 ($(nGy/h)/(Bq/m^2)$)
E	CNVEAN	(NNOB, NAGE)	希ガスを構成する核種 I に定義された雲からの年令別外部線量当量換算係数 ($(nSv/h)/(Bq/m^3)$)
E	CNVEGN	(NNOB, NAGE)	希ガスを構成する核種 I に定義された沈着からの年令別外部線量当量換算係数 ($(nSv/h)/(Bq/m^2)$)
E	CNVIEI	(NNOB, NAGE)	希ガスを構成する核種 I に定義された呼吸による年令別内部実効線量当量換算係数 (Sv/Bq)
E	CNVION	(NNOB, NAGE)	希ガスを構成する核種 I に定義された呼吸による年令別臓器線量当量換算係数 (Sv/Bq)
E	ORGANN	(NNOB)	希ガスを構成する核種 I に定義された臓器線量当量の対象臓器。上記 8 変数の末尾を N から I に変えた変数 (例えば、RLMDI) はヨウ素を構成する核種に対して定義された物理情報であることを表す。
E	RLMDF	(NFP)	放出核種 I に定義された崩壊定数 (s^{-1})
E	CNVARF	(NFP)	放出核種 I に定義された空気吸収線量率換算係数 ($(nGy/h)/(Bq/m^3)$)
E	CNVGDF	(NFP)	放出核種 I に定義された地表沈着からの空気吸収線量換算係数 ($(nGy/h)/(Bq/m^2)$)
E	CNVEAF	(NFP, 3)	放出核種 I に定義された雲からの年令別外部線量当量換算係数 ($(nSv/h)/(Bq/m^3)$)
E	CNVEGF	(NFP, 3)	放出核種 I に定義された地表沈着からの年令別外部線量当量換算係数 ($(nSv/h)/(Bq/m^2)$)
E	CNVIEF	(NFP, 3)	放出核種 I に定義された呼吸による年令別実効線量当量換算係数 (Sv/Bq)
E	CNVIOF	(NFP, 3)	放出核種 I に定義された呼吸による年令別臓器線量当量換算係数 (Sv/Bq)
E	ORGANF	(NFP)	放出核種 I に定義された臓器線量当量の対象臓器
E	NPNT	(NFP)	放出核種 I に定義された核種の挙動に基づく分類。NPNT (1): 希ガス NPNT (2): 希ガスを構成する単一核種 NPNT (3): ヨウ素 NPNT (4): ヨウ素を構成する単一核種 NPNT (5): 希ガス、ヨウ素及びその構成核種以外の核種で γ 放射体 NPNT (6): 希ガス、ヨウ素及びその構成核種以外の核種で非 γ 放射体 NPNT (7): 非

放射性物質。

この変数は、CIDE, RDDATA, REC, RECDS の中で、計算結果の出力 (REC, RECDS)、継続計算の際の直前の計算結果の入力 (RDDATA)、核種の認識 (CIDE) の際に用いられ、1, 2 は放射性雲からの γ 線による被曝のみに寄与する核種、3, 4, 5 は放射性雲及び沈着からの γ 線による被曝および内部被曝に寄与する核種、6 は内部被曝に寄与する核種、7 は被曝に寄与しない核種として認識される。

E	NIF		核種組成ファイルを読むための NUCCRE を CALL するかどうかを決定するフラグ。放出核種に希ガス又はヨウ素が含まれるとき 1 となり、NUCCRE が CALL される。
E	QRELN	(NNOB)	希ガス構成核種の対象炉型、燃焼度でのシャットダウン時の核種組成比率 (合計は 1 となる)
E	QRELI	(NIOD)	ヨウ素構成核種の対象炉型、燃焼度でのシャットダウン時の核種組成比率 (合計は 1 となる)
E	VGO	(NFP)	核種 I に定義された沈着速度 (m/s)
E	RM	(NFP)	核種 I に定義された降雨洗浄係数の係数。(16)式の α
E	RMF	(NFP)	核種 I に定義された降雨洗浄係数の雨量に係るベキ乗。 (16)式の β
E	VG	(NFP)	核種 I に定義された沈着速度 (m/s) の 2 倍

DATCHK (IDAY)

ソースファイル名 datchk.f

機能概要

現在日 IDAY を、カレンダーに一致した日付になおす。例えば、計算が進み現在日が 1 月 32 日になった場合に、2 月 1 日に日付を修正する。

引用関係

MAINROUTINE から、計算が 1 ステップ進行する毎に引用される。現在日の計算 (NTIMEC の一部) に用いられる。

引用は無し。

引数

IDAY 入出力 日付 (YYMMDD)

DCY*8(N, R, SIGI)

ソースファイル名 dcy.f

機能概要

粒子の初期分布作成のため Pasquill Chart に基づく水平拡散係数を計算するファンクション文。

引用関係

Sub. INIL2 から引用される。引用は無し。

引数

N	入力	大気安定度 (1 ~ 7)
R	入力	粒子の移動距離(m)
SIGI	入力	放射線源の初期分布(m)

DCZ*8(N, R, SIGI)

ソースファイル名 dcz.f

機能概要

粒子の初期分布作成のため Pasquill Chart に基づく鉛直拡散係数を計算するファンクション文。

引用関係

Sub. INIL2 から引用される。引用は無し。

引数

N	入力	大気安定度 (1 ~ 7)
R	入力	粒子の移動距離(m)
SIGI	入力	放射線源の初期分布(m)

DEPO

ソースファイル名 depo.f

機能概要

乾性・湿性沈着計算

引用関係

DIVIDL から引用される。

引数

RATE 入力 雨量データの時間内挿に使用 (WINT / WTIMEC)。

ファイルの入出力

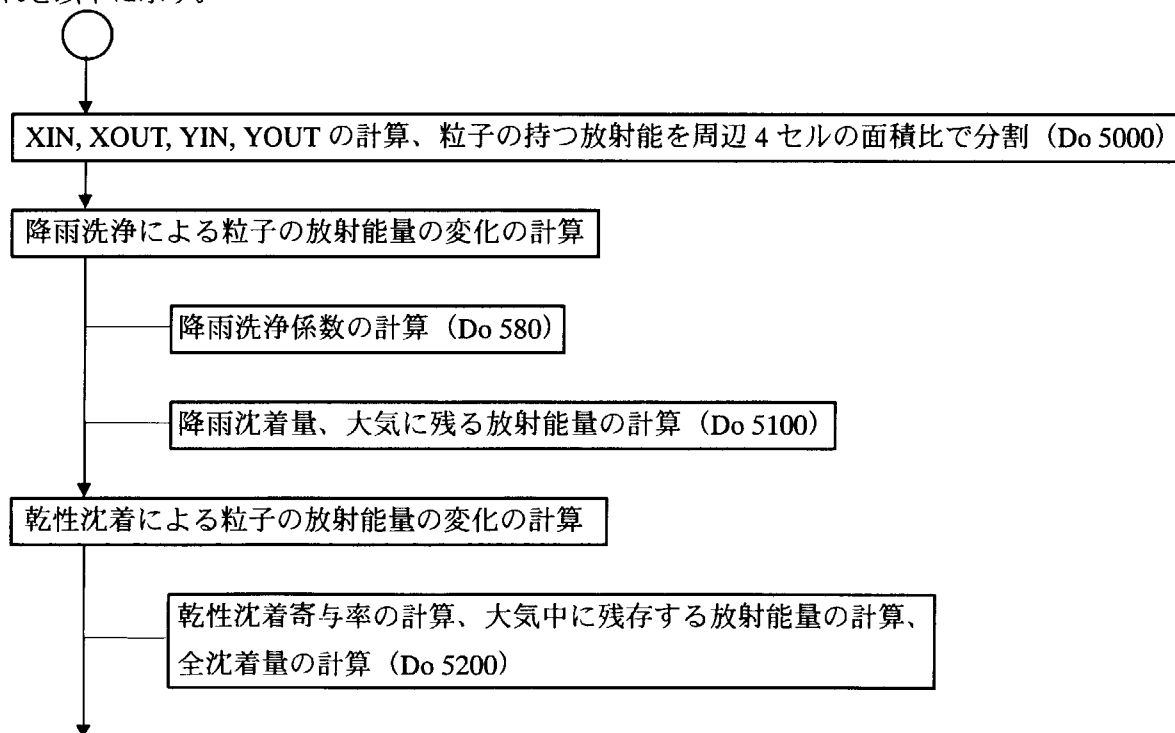
無し。

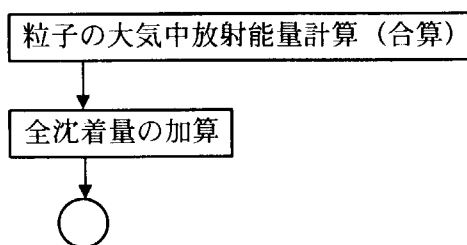
主要な変数

参照	変数名	配列	内容
E	TSPC		面積の逆数 (m ⁻²)
E	Q	(IPP, NFP)	粒子の大気中放射能 (Bq)
E	QD1 - QD4	(IPP)	大気中に残存する放射エネルギー (Bq) 一つの粒子の放射能の影響面積比を近傍 4 セルで計算 (Bq)
E	QDW1-QDW4	(IPP)	湿性沈着による沈着量 (上の 4 セルで計算) (Bq)
E	QDD1-QDD4	(IPP)	乾性沈着による沈着量 (同) (Bq)
E	RAM	(IC, JC, NN)	核種 NN に対する単位時間当りの沈着割合
E	FACTR1		乾性沈着による沈着の割合
E	DASPC		全沈着量 (Bq)

計算の内容

このサブルーチンでは、粒子分布に基づき地表面セルに沈着した放射エネルギーを求める。計算の流れを以下に示す。





DIFFU

ソースファイル名 diffu.f

機能概要

拡散項の計算を行う。

引用関係

TRANP から引用される。

RANU2 を引用する。

引数

無し。

ファイルの入出力

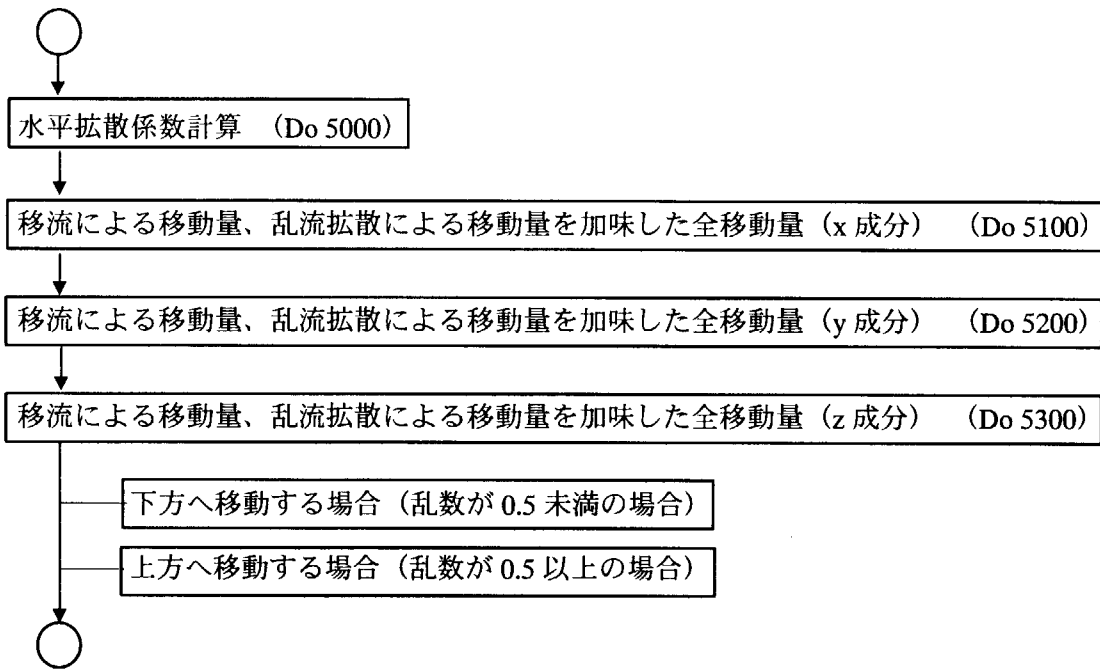
無し。

主要な変数

参照	変数名	配列	内容
E	PDT	(IPP)	各々の粒子の発生からの経過時間(s)
E	GIFFORD		Gifford の σ から求めた水平拡散係数 (m^2/s)
E	UP, VP, WP	(IPP)	現タイムステップにおける移流と拡散による移動量(m)
E	RAND	(IPP)	発生させた乱数
E	WDKY	(IPP)	水平拡散係数 (m^2/s)
E	DDKT		鉛直拡散係数の勾配 (m/s)
E	ZRW		対象地点における鉛直拡散係数 (m^2/s)

計算の内容

このサブルーチンでは、乱流拡散による移動量および TRANP で計算した平均風速を用いた移流による移動量を計算している。以下に計算の流れを示す。



DIVIDL

ソースファイル名 dividl.f

機能概要

粒子分布をセル内の放射エネルギーに変換する。

引用関係

MAIN から引用される。

DEPO を引用する。

引数

RATE 入力 気象データ時間内挿のため、Sub. DEPO に渡す (WINT / WTIMEC)。

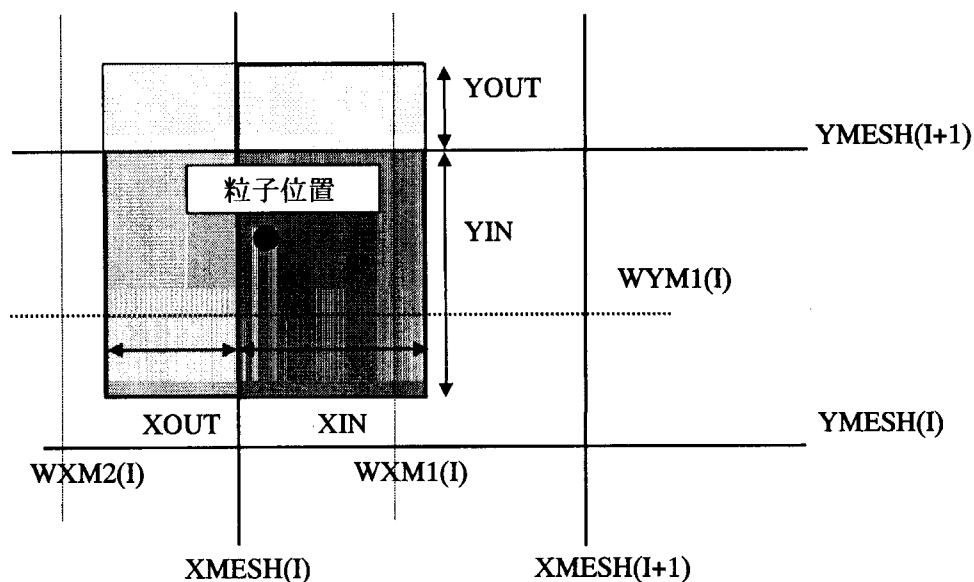
ファイルの入出力

無し。

主要な変数

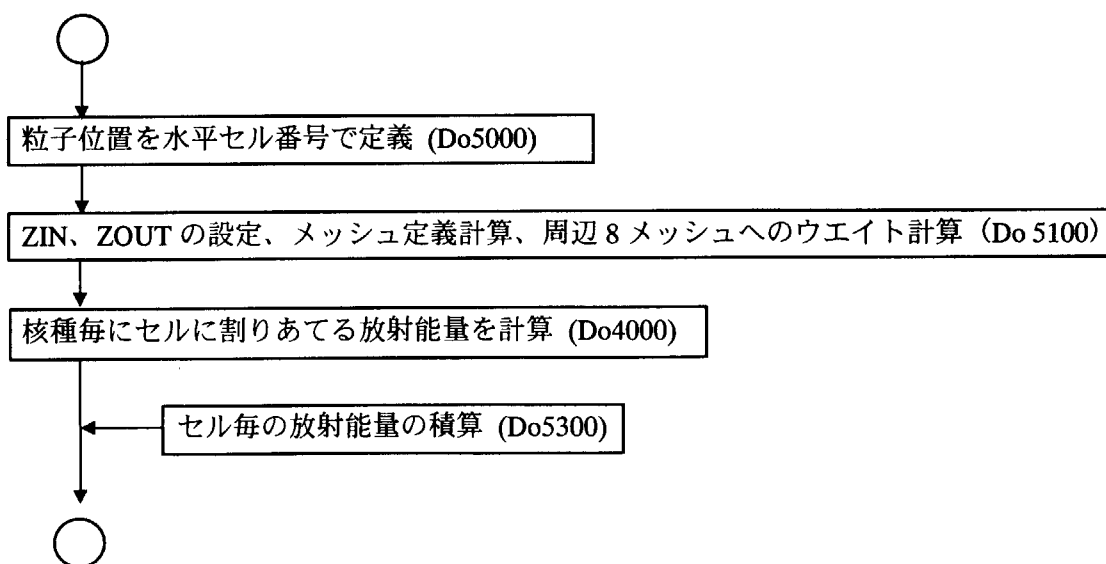
参照	変数名	配列	内容
E	XIN, XOUT	}	下図参照
E	YIN, YOUT		
R	XMESH, YMESH		
R	WXM1-2, WYM1-2		

E	TVOL		体積の逆数 (m^{-3})
E	XP, YP, ZP		粒子位置 (m)
E	A-H	(IPP)	粒子の隣接セルに対する 3次元ウエイト
E	PIG		放射能の地面侵入分
E	SHEAR1	(IPP)	粒子 I の放射能の地面侵入分を加味した粒子の放射能
E	ASPC	(IPCX, IPCY, NCELZ, NFP)	大気中放射能濃度



計算の内容

このサブルーチンでは、求められた粒子分布に基づいてセル内放射エネルギーおよび地表面沈着量を計算する。計算の流れは以下に示す。



DPMAP

ソースファイル名 dpmap.f

機能概要

地形データの読み込みを行う。

引用関係

GRAND から引用される。

アクセスルーチンを引用する。

引数

HDATA 出力 アクセスルーチンで読み込んだ標高データ (z 系)

ファイルの入出力

アクセスルーチンによる地形データファイル入力

主要な変数

参照	変数名	内容
E	HPASS	データを格納するパスの名前。アクセスルーチンの入力データ。
E	MAPTP	エリア名。アクセスルーチンの入力データ。
E	ISNAME	サイト名。アクセスルーチンの入力データ。
E	NOSITE	サイト ID
E	SLG	中心点経度 (度)
E	SLT	同 緯度 (度)
E	ALLG	対象領域の経度方向長さ (km)
E	ALLT	同 緯度方向長さ (km)
E	RZLG	左下隅 x 座標 (km)
E	RZLT	左下隅 y 座標 (km)
E	DDX	経度方向メッシュ幅
E	DDY	緯度方向メッシュ幅
E	NMLG	地形データの経度方向メッシュ数
E	NMLT	同 緯度方向メッシュ数
E	NMX	風速場の経度方向メッシュ数
E	NMY	同 緯度方向メッシュ数
E	NCX	経度方向計算メッシュ数
E	NCY	緯度方向計算メッシュ数
E	XMTMIN	計算メッシュ左下隅 x 座標 (m)

E	YMTMIN	同	y 座標 (m)
E	XMAXM	計算メッシュ右上隅	x 座標 (m)
E	YMAXM	同	y 座標 (m)
E	IDGR	図法インデックス (101:LAMBERT, 102:POLAR, 103:MERCATOR)	
E	ICGR	図法名	
E	IMAX	x 方向データ数	
E	JMAX	y 方向データ数	
E	IPMX	x 方向配列数	
E	IPMY	y 方向配列数	

計算の流れ

アクセスルーチン(RMA10) を用いて地形データ制御ファイルを読み込む
 アクセスルーチン(RMA30) を用いて標高データを読み込む
 メッシュ幅、領域の緯度経度方向距離などの計算を行う

DTTOS*8 (ID)

ソースファイル名 dttos.f

機能概要

時刻 (または時間) ID を、秒に変換する。

引用関係

MAINROUTINE で、現在時刻 (HHMMSS) を 00 時からの秒に換算するために引用される。

INPUT で入力される計算時間、出力時間幅、気象データ入力時間幅 (HHMMSS) を秒に変化するために引用される。

引用は無し。

引数

ID	入出力	時刻 (HHMMSS)
----	-----	-------------

GRAND

ソースファイル名 grand.f

機能概要

地形データを読み込み、採用する地図図法や領域に対応する地図関数を計算する。また z*スケールファクター((3)式の h) の計算を行い、読み込んだ z 系の標高データを z*系に変換する。

引用関係

MAIN から引用される。
 DPMAP を引用する。
 GLCCPI, GPOLRI, GMERCI を引用する。

引数

ICPX, ICPY, ICPZ	出力	放出点を含むセルの番号
HRL	出力	放出点の Z スケールファクター

ファイルの入出力

無し。

主要な変数

参照	変数名	配列	内容
E	REARTH		地球半径 (km)
E	ORAMDA,		中心点緯度、経度 (度)
E	RCNV		弧度 (rad)
E	FM	(0:IPCX, 0:PCY)	地図関数
E	VOLSCL	(0:IPCX, 0:PCY)	地図関数の 2 乗
E	X00, Y00		左下点座標 (m)
E	X00M, Y00M		左下点座標 (km)

計算の内容

標高データ読み込み(DPMAP)
 地図関数の計算(GLCCPI, GPOLRI, GMERCI)
 z*スケールファクターの計算、z*系への変換

IBL

ソースファイル名 ibl.f

機能概要

混合層高度、自由大気高度、遷移層の設定を行う。

引用関係

AMAIN から引用される。

引数

無し。

ファイルの入出力

無し。

主要な変数

参照	変数名	配列	内容
R	NS	(3)	A-F で表される安定度 (ネームリストで設定。 デフォルト設定は block data CIDEB の中で行う)
E	L, M, N		Integer で表す安定度 (A:1, B:2, ..., G:7)
E	DIT	(7)	安定度に対応した拡散係数のファクター。(13)式の f_L
E	DT	(IPCX, IPCY, IPCZ)	各セルにおける拡散係数のファクター f_L

INIL2

ソースファイル名 inil2.f

機能概要

単位時間内に発生する粒子の設定。

1)通常の場合、2)このステップで MAXP を超える場合、3)既に MAXP を超えている場合、の3通りについて設定を行う。すでに計算領域内に存在する粒子が MAXP ある時は、そのステップでの発生粒子用の配列は、すでに存在する粒子のものを間引きして当てる。発生した粒子は、時間ステップを更に細分化したサブステップで移流拡散させるが、その時の拡散係数には Pasquill Chart から求めた拡散係数を用いる。

引用関係

MAIN から引用される。

DCY, DCZ, VOL1, VOL2 を引用する。

RANU2 を引用する。

引数

ZRIS	入力	排煙噴出高度(m)
HRL	入力	放出点の Z*スケールファクター

ファイルの入出力

無し。

主要な変数

参照	変数名	配列	内容
E	NP		単位時間内に発生させる粒子数
R	UI, VI, WI		放出点の風速 (Sub. PRISE で定義) (m/s)
E	UR		放出点風速絶対値 (m/s)
E	FCTM		メアンダリングファクター
E	QINL	(NFP)	粒子に持たせる各核種の放射エネルギー (Bq)
E	DELT		粒子発生間隔 (s)
E	IRCL		新しい粒子を発生させる際、間引きを行うかどうかの指標
E	NTP		このタイムステップが終了した後存在する粒子数
R	NPLST		このタイムステップ内に発生させる粒子の先頭番号
E	NZAN		MAXP を超えた量 (NTP-MAXP) ; 間引き粒子数
E	STSTEP		粒子のランダムウォーク計算時に用いる TSTEP 内のサブステップ (s)
E	T		TSTEP 内で粒子の存在できる時間 (s)
E	QRCY	(NFP)	間引き対象粒子の持つ放射能 (Bq)
E	II	(IPP)	間引き対象粒子の番号 (乱数発生によりランダムに選定)

INPUT

ソースファイル名 input.f

機能概要

ネームリストからデータを読み込み、初期・継続計算の判定を行う。

引用関係

MAIN から引用される。

TINTVL を引用する。

引数

NBLOCK 出力 初期・継続計算判定インデックス

ファイルの入出力

機番 10 からネームリストを入力

主要な変数

参照	変数名	配列	内容
R	NBLOCK		初期・継続計算判定 INDEX. 0 : 初期計算, 1 : 継続計算
E	MAPTP		エリア名
E	ISNAME		サイト名
E	RLAT		放出点緯度 (度)
E	RLONG		放出点経度 (度)
E	IRTIM	(2)	放出開始時間. 1 : yymmdd, 2 : hhmmss.
E	Z00		放出高度 (m)
E	IRLFLG		放出情報読み込み INDEX. 0 : ルーチン内設定, 1 : rrate.data 読込
E	ICSTIM	(2)	計算開始時刻. 1 : yymmdd, 2 : hhmmss.
E	NTIMEI	(2)	ICSTIM を Character 変換したもの
E	IWIDRC		出力時間間隔. hhmmss.
E	ITRACE		計算時間間隔. hhmmss.
E	ISDTIM	(2)	シャットダウン時刻. 1 : yymmdd, 2 : hhmmss.
E	REACT		原子炉タイプ. (PWR or BWR)
E	BURNUP		燃焼度. (MWday/MtU)
E	IOPEN		出力ファイル初期化 INDEX
E	MAXP		最大粒子数
E	TFULL		MAXP を発生させる時間 (s)
E	SIGH0, SIGZ0		水平・鉛直体積源の標準偏差 (m)
E	BOND	(2)	混合層-遷移層の境界高度及び遷移層-自由大気の境界高度 (m)
E	NSL	(3)	混合層、遷移層、自由大気の安定度 (1-7)
E	TE, TS, WS, RADS		環境温度、排煙温度、吹き上げ初速、スタック半径 (通常 0 に設定、熱的影響なし)
E	TINT		計算開始から放出開始までの時間 (s) (MAIN で粒子を発生させるためのインデックス)
E	WIDRC		放出量入力時間間隔 (s)
E	TRACE		計算時間間隔 (s)
E	WIDMT		気象データ入力間隔 (s)
E	DTTOS	(A)	A 時 (HHMMSS) を秒に変換する関数

ISTODT (SEC)

ソースファイル名 istodt.f

機能概要

秒を時刻に変換する。

引用関係

MAINROUTINE から、計算が1ステップ進行する毎に引用される。現在時刻 (NTIMEC の一部) の計算に用いられる。

引用は無し。

引数

SEC 入力 秒 (s)

LEVEL1

ソースファイル名 level1.f

機能概要

鉛直拡散係数を設定する。

引用関係

MAIN から引用される。

引数

無し。

ファイルの入出力

無し。

主要な変数

参照	変数名	配列	内容
E	DKH	(IPCX, IPCY, IPCZ)	Sub. IBL で求めた DT に、対象地点での平均風速の絶対値を乗じて求めた鉛直拡散係数 (m^2/s)
E	DKLM		最小鉛直拡散係数 ($0.1 \text{ m}^2/\text{s}$)
E	DKLMU		最大鉛直拡散係数 ($50 \text{ m}^2/\text{s}$)

GLCCPI, GPOLRI, GMERCI

ソースファイル名 mpfunc.f

機能概要

地図関数を計算する。対象領域の図法がランベルト正積方位図法の場合は GLCCPI、ポローステレオ図法の場合は GPOLRI、メルカトル図法の場合は GMERCI を使用する。

引用関係

GRAND から引用される。

引数

X	入力	対象地点の x 座標 (m)
Y	入力	対象地点の y 座標 (m)
R	入力	地球半径 (m)
P0	入力	領域中心の緯度 (度)
Q0	入力	領域中心の経度 (度)
RCNV	入力	弧度法で表現した角度 (rad)
P	出力	地点 (x, y) の緯度 (度)
Q	出力	(x, y) の経度 (度)
F	出力	(x, y) における地図関数

ファイルの入出力

無し。

METMSH

ソースファイル名 metmsh.f

機能概要

WSYNOP で計算した風速場の読み込みを行う。

引用関係

MAIN から引用される。

引数

無し。

ファイルの入出力

アクセスルーチンで気象データを読み込み、地図関数を乗じた形式への変換を行う。

主要な変数

参照	変数名	配列	内容
E	VX, VY, VZ	(IPCX, IPCY, IPCZ)	RWD30 からの出力 (m/s)
E	USN, VSN, WSN	(IPCX, IPCY, IPCZ)	新風速データ (内挿に用いる) (m/s)
R	FMU, FMV		u 定義点と v 定義点の地図関数

NUCCRE

ソースファイル名 nuccre.f

機能概要

核種組成比率ファイルから、炉型及び燃焼度別の希ガスとヨウ素を構成する核種のシャットダウン時の組成比率を読み出す。また、該当炉型、燃焼度の組成データを、ファイルデータから内挿により計算する。

引用関係

CIDE03 から、引用される。

引用は無し。

引数

REACT	入力	炉型。BWR 又は PWR が引きわたされる。
BURNUP	入力	燃焼度 (MWD/MtU)。2,000 から 50,000 の任意の値が入力される。
CRATO	出力	希ガス及びヨウ素を構成する核種のシャットダウン時の炉内組成比率。 希ガスの構成核種の組成比率の合計及びヨウ素構成核種の組成比率の合計は、それぞれ 1 になる。

ファイルの入出力

基番 16 から核種組成ファイルのデータを入力

主要な変数

参照	変数名	配列	内容
R	NNOB		希ガス構成核種数 (=15)
R	NIOD		ヨウ素構成核種数 (=7)
R	BURN	(22)	組成ファイル内に記述された燃焼度 (MWD/MtU)
R	AP	(22, 22)	第 1 配列が燃焼度のインデックス、第 2 配列が希ガス及びヨウ素を構成する核種のインデックス (15+7) である。

PCKNG

ソースファイル名 pckng.f

機能概要

領域外に出た粒子及び放射エネルギーが崩壊及び沈着により 10^{-16}Bq 以下になった粒子を粒子群の番号列から除外し、領域内に存在する粒子に対して番号をつけなおし、各粒子が持つ位置座標、放射エネルギー等の情報も新しい粒子番号インデックスの変数に割り当て直す。本機能は、プログラムをベクトル化する際に、粒子のループの中で粒子が領域内かどうかを判定する IF 文を除外するために作られた。

引用関係

MAIN から、計算が 1 ステップ進行する毎に引用される。

引用は無し。

主要な変数

参照	変数名	配列	内容
R	Q	(IPP, NFP)	粒子 I (第 1 配列) が持つ核種 N (第 2 配列) の放射エネルギー (Bq)
E	NPLST		領域内の有効粒子数
E	X, Y, Z	(IPP)	粒子座標 (m) 但し、Z は Z' 系上での座標
E	PDT	(IPP)	粒子 I の発生からの経過時間 (s)。
E	IRCY	(IPP)	粒子が、現時刻を含む WIDRC 間に放出されたものか (=1)、それ以前に放出されたものか (=2) を示す指標。
E	NSTL	(IPP)	不要、削除が適当

PERCEL

ソースファイル名 percel.f

機能概要

継続計算を行う際に、計算開始時刻の粒子分布データを機番 20 の粒子分布ファイルから入力する。

引用関係

MAINROUTINE から、継続計算の場合、計算開始時点で引用される。

引用は無し。

ファイル関係

粒子分布ファイル（機番 20）から入力を行う。

主要な変数

参照	変数名	配列	内容
R	NTIMEF		粒子分布データの時刻 (yymmddhhmmss)
R	Q	(IPP, NFP)	粒子 I (第 1 配列) が持つ核種 N (第 2 配列) の放射エネルギー (Bq)
R	NPLST		領域内の有効粒子数
R	X, Y, Z	(IPP)	粒子座標 (m)。但し、Z は Z*系上での座標。
R	PDT (IPP)		粒子 I の発生からの経過時間 (s)。但し、inil2.f 内では移動距離として使われている。
E	IRCY	(IPP)	粒子が、現時刻を含む WIDRC 間に放出されたものか (=1)、それ以前に放出されたものか (=2) を示す指標。
E	NSTL	(IPP)	不要、削除が適当

PRISE

ソースファイル名 prise.f

機能概要

排煙吹き上げ速度の設定を行う。

引用関係

MAIN から引用される。

引数

無し。

ファイルの入出力

無し。

主要な変数

参照	変数名	内容
R	HREAL	Z*系での放出高度 (m)
R	X00, Y00, Z00	放出点座標 (m)
R	TE, TS, WE	環境温度、排煙温度、吹き上げ初速、スタック半径 (通常 0 に設定、熱的影響なしを仮定)
R	U1, V1, W1	放出高度の平均風速 (m/s)
E	ZRIS	排煙吹き上げ速度 (m/s)

RDDATA

ソースファイル名 rddata.f

機能概要

沈着量・線量などの計算開始からの積算が必要な物理量を読み込む（継続計算時のみ）。

引用関係

MAIN から引用される。

アクセスルーチンを引用する。

引数

NBLOCK 入力 初期・継続計算判定インデックス

ファイルの入出力

アクセスルーチンによる濃度・線量データの入力

主要な変数

参照	変数名	配列	内容
E	SPCDPI	(NCELX, NCSLY, NFP)	計算開始時点の沈着量(Bq/m ²)
E	EXTDSA	(NCELX, NCELY, NAGE, NFP)	計算開始時点の外部被曝線量(mSv)
E	INTDSA	(NCELX, NCELY, NAGE, NFP)	計算開始時点の内部被曝線量(mSv)
E	NPNT	(NS)	核種 NS の性状を表すインデックス NPNT(NS): 1 希ガス 15 種の混合ガス 2 希ガス中の単一核種 3 ヨウ素 7 種の混合ガス 4 要素中の単一核種 5 その核種のうち γ 放射体 6 同 非 γ 放射体 7 非放射性核種

REC

ソースファイル名 rec.f

機能概要

濃度分布及び地表面沈着量の出力を行う。

引用関係

MAIN から引用される。
 アクセスルーチンを引用する。

引数

無し。

ファイルの入出力

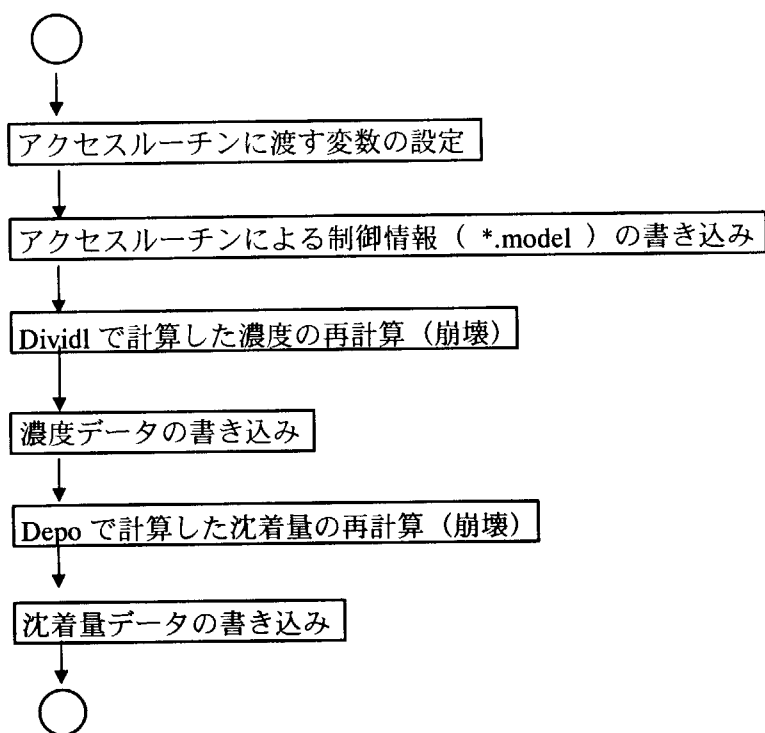
アクセスルーチン内で濃度データファイルへの出力を行う。

主要な変数

参照	変数名	配列	内容
E	SPC		セル面積(m ²)
E	WISPC		SPC の逆数(m ⁻²)
R	NCLID		全核種数
E	NCLIDD		扱う核種のうち沈着する核種数
E	NAMEDPS	(NCLIDD)	沈着する核種名
E	NAMES	(NFP)	全核種名
R	RDCY	(NFP)	崩壊による減少
R	ASPC	(IPCX, IPCY, NCELZ, NFP)	Sub. DIVIDL で計算された WIDRC 間の対象セル内の積算放射能量(Bq)
R	WIDRC		出力積分時間幅(S)
R	VOLSCL	(IPCX, IPCY)	地図関数の 2 乗
R	H	(IPCX, IPCY)	Z [*] のスケールファクター
E	SPCAR	(IPCX, IPCY, II)	RECDS 内での線量計算に用いる地上濃度(Bq/m ³)
E	IDEPN		沈着核種の計算順を表すインデックス
R	DASPC	(IPCX, IPCY, NFP)	DEPO で計算された WIDRC 間の対象セル内の積算沈着量(Bq)
E	SPCDPI	(IPCX, IPCY, NFP)	核種の崩壊の効果を加味した積算沈着量(Bq/m ²)
E	SPCDP	(IPCX, IPCY, NFP)	沈着核種からのγ線被曝線量を計算するために recds に渡される沈着量(Bq/m ²)

計算の内容

このサブルーチンでは、Sub. DIVIDL で計算した濃度分布に崩壊の効果を加味し、結果をファイルに出力する。計算の流れを以下に示す。



RECDS

ソースファイル名 recds.f

機能概要

被曝線量分布の出力を行う。

引用関係

MAIN から引用される。
アクセスルーチンを引用する。

引数

無し。

ファイルの入出力

アクセスルーチン内で被曝線量データファイルへの出力を行う。

主要な変数

参照	変数名	配列	内容
R	NCLID		核種数
E	NAME	(NFP)	全核種名

R	CONCC	(NCELX, NCELY, NFP)	REC で計算された WIDRC 間の対象地上セル内の平均地上濃度 (Bq/m ³)
R	CONCD	(NCELX, NCELY, NFP)	REC で計算された WIDRC 後の対象地上セル内の地表沈着量 (Bq/m ²)
R	RESP	(NA)	年齢別呼吸率 (m ³ /h)
R	CNVARF	(NFP)	} CIDE03 の説明参照
R	CNVGDF	(NFP)	
R	CNVEAF	(NFP, 3)	
R	CNVEGF	(NFP, 3)	
R	CNVIEF	(NFP, 3)	
R	CNVIOF	(NFP, 3)	
R	ORGANF	(NFP)	
R	AIRDSA	(NCELX, NCELY, NFP)	対象地上セルの核種別空気吸収線量率 (μGy/h)
R	EXTDSA	(NCELX, NCELY, NAGE, NFP)	対象地上セルの核種別外部被曝線量 (mSv)
R	INTDSA	(NCELX, NCELY, NAGE, NFP)	対象地上セルの核種別年齢別内部被曝線量 (mSv)

計算の内容

このサブルーチンでは、Sub. REC で計算した濃度分布をもとに被曝線量計算を行い、結果をファイルに出力する。被曝線量は核種別に計算されるが、核種番号 NCLID+1 に 'TOTAL' という名前の仮想核種を設定して、全核種からの被曝線量の合計を出力する。例えば、AIRDSA(NCELX,NCELY,NCLID+1)は、全核種からの合計の空気吸収線量率を表す。

PRDECAY

ソースファイル名 prdecay.f

機能概要

粒子の持つ放射エネルギーの崩壊補正を行う。

引用関係

MAINROUTINE から予測結果が WIDRC 間隔で出力される毎に、引用される。
引用は無し。

ファイルの入出力

無し

主要な変数

参照	変数名	配列	内容
----	-----	----	----

E	Q	(IPP, NFP)	粒子 I (第 1 配列) が持つ核種 N (第 2 配列) の放射エネルギー (Bq)
R	RDCYA	(NFP)	核種 I に対する WIDRC 間の放射性崩壊による平均減衰率。 IRCY=1 の核種 (直前の Δt 内で発生した粒子) に適用される。
R	RDCYB	(IPP)	核種 J に対する WIDRC 後の放射性崩壊による平均減衰率。 IRCY=1 の核種 (それ以前の Δt 内で発生した粒子) に適用される。

RANU2 (ii, ix, n, icon)

ソースファイル名 ranu2.f

機能概要

0 ~ 1 の一様乱数の発生。

引用関係

DIFF, INIL2, VOL1, VOL2 から引用される。

引用は無し。

引数

ii	入力	乱数初期値
ix	出力	発生させる乱数
n	入力	発生させる乱数の個数
icon	ダミー	

ファイル関係

無し。

RNMESH

ソースファイル名 rnmesh.f

機能概要

降雨データの入力と、セル毎の洗浄係数の計算を行う。

引用関係

MAIN から引用される。

引数

無し。

ファイルの入出力

アクセスルーチンで降雨データを読み込む。

主要な変数

参照	変数名	配列	内容
E	URYO	(IPCX, IPCY)	降水量(mm/h)
R	RAM	(IPCX, IPCY, NFP)	時間ステップ間に降雨洗浄により地表沈着する放射能の割合

RSTOUT

ソースファイル名 rstout.f

機能概要

継続計算のために、計算開始時刻の粒子分布データを出力する。

引用関係

MAINROUTINE から、計算終了時に引用される。

引用は無し。

ファイル関係

粒子分布ファイル（機番 20）に書き込みを行う。

主要な変数

参照	変数名	配列	内容
R	NTIMEF		粒子分布データの時刻 (yymmddhhmmss)
R	Q	(IPP, NFP)	粒子 I (第 1 配列) が持つ核種 J (第 2 配列) の放射能量 (Bq)
R	NPLST		領域内の有効粒子数
R	X, Y, Z	(IPP)	粒子座標 (m) 但し、Z は Z'系上での座標 (m)
R	PDT	(IPP)	粒子 I の発生からの経過時間 (s)。但し、inil2.f 内では移動距離として使われている。
E	IRCY	(IPP)	粒子が、現時刻を含む WIDRC 間に放出されたものか (=1)、それ以前に放出されたものか (=2) を示す指標。
E	NSTL	(IPP)	不要、削除が適当

SOURCE

ソースファイル名 source.f

機能概要

放出源情報の表示を行う。

引用関係

MAINROUTINE から、放出情報を入力する毎に引用される。

引用は無し。

ファイル関係

無し

主要な変数

参照	変数名	配列	内容
E	NUCLID		核種数
R	NAME	(NFP)	核種 I の核種名
R	RRATE	(NFP)	核種 I の放出率 (Bq/h)
R	VGO	(NFP)	核種 I の乾燥沈着速度 (m/s)

TCNVLN (NTIMEW, NHOURL)

ソースファイル名 tcnvl.n.f

機能概要

紀元 1 年 1 月 1 日 0 0 時から、日時 NTIMEW までの時間 (h) を計算する。

引用関係

サブルーチン TINTVL から、引用される。

引用は無し。

引数

NTIMEW	入力	日時	NTIMEW(1):年 (下 2 桁) (2):月 (3):日 (4):時
NHOURL	出力	紀元 1 年 1 月 1 日 0 0 時から、日時 NTIMEW までの時間 (h)	

ファイル関係

無し

TINTVL (ISTIME, IETIME, ITIM)ソースファイル名 tintvl.f機能概要

2つの日時 IETIME と IETIME の間は何秒であるか計算する。本機能では、2桁表示の年に対して1900を加えて、暗黙のうちに1900年代となる仮定が入っているため、1900年代から2000年代にまたがる計算ではエラーを生じる。

引用関係

MAINROUTINE から、放出率データファイルのデータ入力の際に引用される。

CIDE から、崩壊補正の際に引用される。

TCNVLN を引用する。

引数

ISTIME	入力	日時1 (YYMMDD) (HHMMSS)
IETIME	入力	日時2 (YYMMDD) (HHMMSS)。日時2は日時1よりかならずしも後である必要はない。
ITIM	出力	日時1と日時2の時間間隔(S)

ファイル関係

無し

TRANPソースファイル名 tranp.f機能概要

移流拡散計算を行う。

引用関係

MAIN から引用される。

DIFFU を引用する。

引数

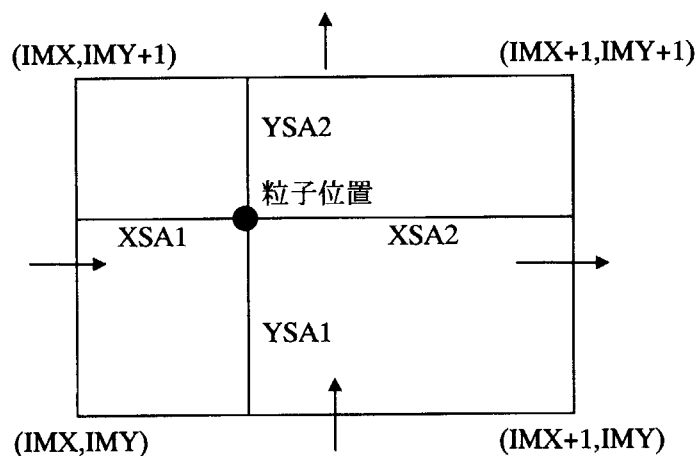
RATE 入力 気象データの時間内挿パラメータ (WINT/WIDMT)

ファイルの入出力

無し。

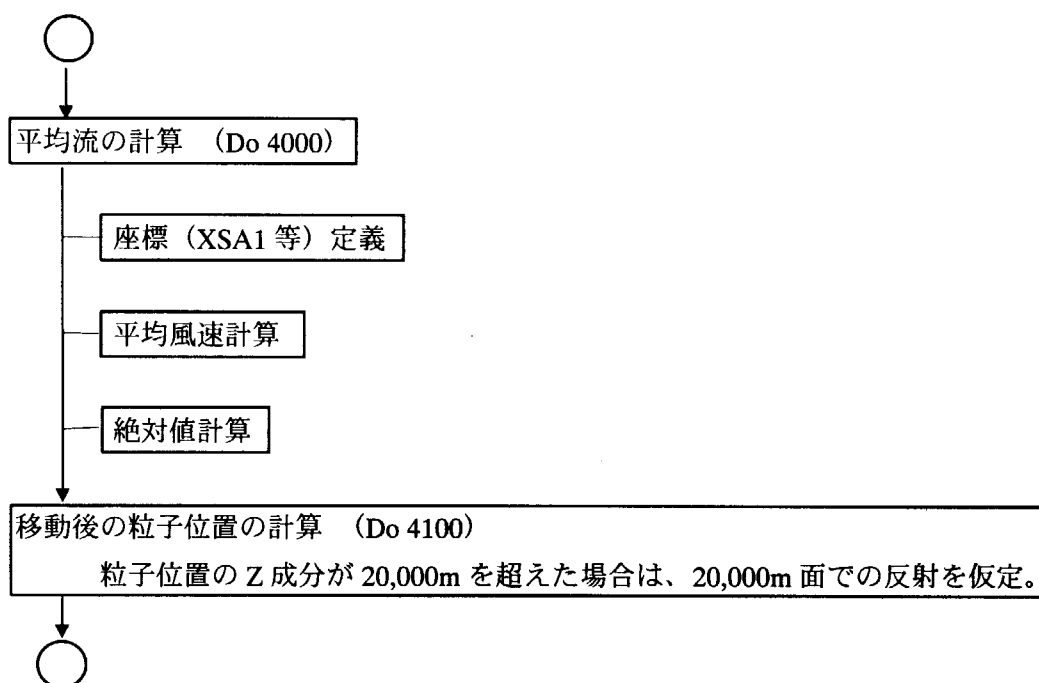
主要な変数

参照	変数名	配列	内容
E	MPX, MYP, MZP		粒子を含むセル番号 (=IMX, IMY, IMZ)
E	XP, YP, ZP		粒子座標 (=X, Y, Z)
E	WSPEW	(IPP)	粒子 I の存在地点における風速 u 成分 (m/s)
E	WSPNS	(IPP)	同 v 成分 (m/s)
E	WSPUP	(IPP)	同 w 成分 (m/s)
E	SPDZ	(IPP)	同 風速絶対値 (m/s)
E	XSA1, XSA2		粒子の存在するメッシュ内の座標
E	YSA1, YSA2		(Sub. DEPO における XIN, YIN etc. との混同に注意)



計算の内容

(8)式の U_m, V_m, W' は粒子の存在するメッシュにおける平均風速で、WSYNOP の結果を時間・空間について線形内挿したものを用いている。本ルーチン内では平均流を求め、Diffu をコールして乱流拡散による移動量を計算し、最後に全体の移動量を求めている。



VMSSET

ソースファイル名 vmsset.f

機能概要

鉛直メッシュを設定する。

引用関係

MAIN から引用される。

引数

無し

ファイルの入出力

無し

主要な変数

参照	変数名	配列	内容
E	ZMESH	(IPCZ)	鉛直メッシュ高度(m)
E	ZMWD	(IPCZ)	メッシュインターバル(m)
E	DZMIN		最下層のメッシュ幅(m)
E	ZMAX		最上層メッシュ高度(m)
E	ZMTMIN		最下層メッシュ高度(m)

VOL1 (ZRIS, HRL, NPT)

ソースファイル名 vol1.f

機能概要

放出源が体積源の場合に、粒子を直方体型分布で発生させる。体積中で粒子は均一に分布している。最後の 4500 の loop で HRL を加算しているなど古いものが残っている。

引用関係

INPUT から、直方体型の粒子分布を発生させるために引用される。
乱数発生ルーチン RANU2 を引用する。

引数

ZRIS	入力	吹き上げ高度 (m)
HRL	入力	スタック高度 (m)
NPT	入力	INIL2 内で粒子を発生させた後の総粒子数

ファイル関係

無し

主要な変数

参照	変数名	配列	内容
R	SIGH0		水平方向の一辺の長さ (m)
R	SIGZ0		鉛直方向の高さ (m)
R	X00, Y00, Z00		分布の中心の座標 (m)
E	X, Y, Z	(IPP)	発生した粒子の座標 (m)

VOL2 (ZRIS, HRL, NZAN, II)

ソースファイル名 vol2.f

機能概要

放出源が体積源の場合に、粒子を直方体型分布で発生させる。体積中で粒子は均一に分布している。最後の 4500 の loop で HRL を加算しているなど古いものが残っている。機能は vol1 と同じであるが、INIL で粒子をすでに発生している粒子群から間引きして発生させる場合に vol2 を用いる。

引用関係

INPUT から、直方体型の粒子分布を発生させるために引用される。
乱数発生ルーチン RANU2 を引用する。

引数

ZRIS	入力	吹き上げ高度 (m)
HRL	入力	スタック高度 (m)
NZAN	入力	発生させる粒子数
II	入力	間引きする粒子の番号。NZAN 分だけある。

ファイル関係

無し

主要な変数

参照	変数名	配列	内容
R	SIGH0		水平方向の一辺の長さ (m)
R	SIGZ0		鉛直方向の高さ (m)
R	X00, Y00, Z00		分布の中心の座標 (m)
E	X, Y, Z	(IPP)	発生した粒子の座標 (m)

4. 使用方法

4.1 計算資源

モデルのソースコードは、FORTRAN で記述されている物理モデル部分と、Cで記述されたアクセスルーチンから成る。従って、ソースコードのコンパイルには相互にリンク可能な FORTRAN コンパイラおよびCコンパイラが必要である。

モデル計算の実行に必要なメモリは、コンパイル時に設定する粒子数と格子数の上限値に依存する。モデル計算に要する CPU 時間は、計算機的能力、実際に用いる粒子数および粒子の追跡時間に依存し、格子数の上限値にはあまり依存しない。メモリー量と CPU 時間の例を Table 3 に示す。

Table 3 メモリー量と CPU 時間の例

メモリー	110MB
CPU	27分
機器	SUN S-7
計算条件	粒子 20000 個 格子 50×50×20 3日間の計算

4.2 ディレクトリ構造

プログラムおよびデータ格納のためのディレクトリ構造を Fig.4 に示す。ここで、[data directory]、[region name]、[area name]は、それぞれプログラム中の領域変数 HPATH、SNAME、MAPTP に対応する。[region name] と[area name]は必要に応じて複数個持つことができるが、1回の計算で対象とするのは一組の[region name] と[area name]である。

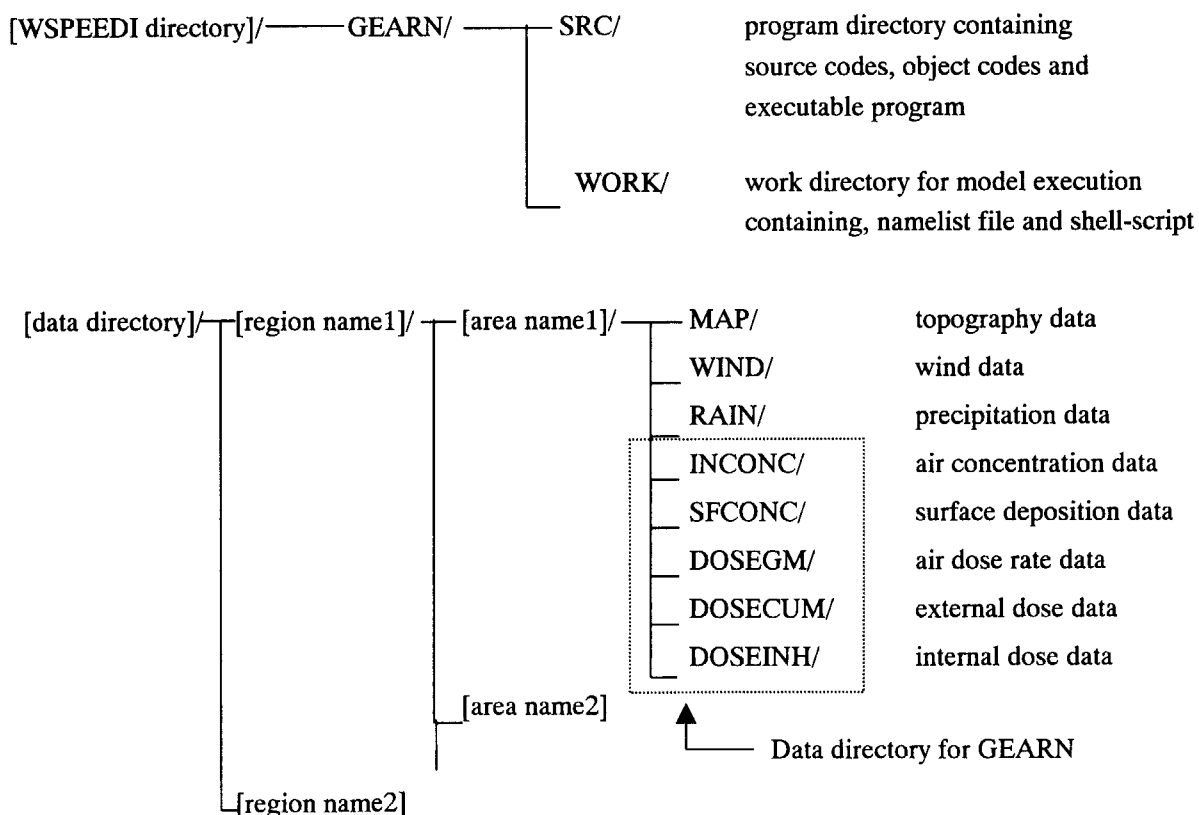


Fig. 4 GEARN のディレクトリ構造

4.3 入出力ファイル

GEARN の実行に必要なファイルの一覧を Table 4 に示す。機番の欄が数字であるファイルは FORTRAN の入出力文によりアクセスされることを表し、C はアクセスルーチンによってアクセスされることを表す。最後の欄は、実際にアクセスする SUBROUTINE 等の名前である。これらのファイルのうち機番 10, 16, 17, 20, 60 のファイルは setenv 等を用いて別途結合する必要がある。残りのファイルはモデル内で結合（オープン）される。

Table 4 GEARN に関連する入出力ファイル

機番	I/O	ファイル	サブ-ル-チン
10	Input	ネームリストファイル file name=[wspeedi directory]/GEARN/WORK /prwda21.nmlist	INPUT
16	Input	核種組成データファイル file name=[wspeedi directory]/GEARN/WORK/nccreat.data	NUCCRE
17	Input	核種物理データファイル file name=[wspeedi directory]/GEARN/WORK/nuclide.data	CIDE03
20	Input/ Output	粒子位置ファイル file name=[wspeedi directory]/GEARN/WORK/particle.data	RERCEL(I) RSTOUT(O)
60	Input	放出データファイル file name=[wspeedi directory]/GEARN/WORK /rrate.data	MAIN
C	Input	地図情報ファイル file name=[data directory]/[region name]/[area name]/MAP/map.data [data directory]/[region name]/[area name] は、ネームリストデータとして定義される。	RMA10
C	Input	標高データファイル file name=[data directory]/[region name]/[area name] /MAP/topogra.data	RMA30
C	Input	風速場情報ファイル file name=[data directory]/[region name]/[area name] /WIND/wind.model	RWD10
C	Input	風速場時刻ファイル file name=[data directory]/[region name]/[area name] /WIND/wind.time	RWD30
C	Input	風速場データファイル file name=[data directory]/[region name]/[area name]/WIND/time*.data	RWD30
C	Input	降雨情報ファイル file name=[data directory]/[region name]/[area name]/RAIN/rain.model	RDF10

C	Input	降雨時刻ファイル file name=[data directory]/[region name]/[area name] /RAIN/rain.time	RDF30
C	Input	降雨データファイル file name=[data directory]/[region name]/[area name]/RAIN/rain*.data	RDF30
C	Output	濃度情報ファイル file name=[data directory]/[region name]/[area name] /INCONC/inconc.model	WCN10
C	Output	濃度時刻ファイル file name=[data directory]/[region name]/[area name] /INCONC/inconc.time	WCN30
C	Output	濃度データファイル file name=[data directory]/[region name]/[area name] /INCONC/time*.nuc* *: 1,2,3...	WCN30
C	Input/ Output	沈着量情報ファイル file name=[data directory]/[region name]/[area name] /SFCONC/sfconc.model	RCN10(I) WCN10(O)
C	Input/ Output	沈着量時刻ファイル file name=[data directory]/[region name]/[area name] /SFCONC/sfconc.time	RCN30(I) WCN30(O)
C	Input/ Output	沈着量データファイル file name=[data directory]/[region name]/[area name] /SFCONC/time*.nuc* *: 1,2,3....	RCN30(I) WCN30(O)
C	Output	空気吸収線量率情報ファイル file name=[data directory]/[region name]/[area name] /DOSEGM/dosegm.model	WDS10
C	Output	空気吸収線量率時刻ファイル file name=[data directory]/[region name]/[area name] /DOSEGM/desegm.time	WDS30
C	Output	空気吸収線量率データファイル file name=[data directory]/[region name]/[area name] /DOSEGM/time*.nuc* *: 1,2,3...	WDS30
C	Input/ Output	外部被曝線量情報ファイル file name=[data directory]/[region name]/[area name] /DOSECUM/dosecum.model	RDS10(I) WDS30(O)

C	Input/ Output	外部被曝線量時刻ファイル file name=[data directory]/[region name]/[area name] /DOSECUM /dosecum.time	RDS30(I) WDS30(O)
C	Input/ Output	外部被曝線量データファイル file name=[data directory]/[region name]/[area name] /DOSECUM /time*.nuc* * : 1,2,3....	RDS30(I) WDS30(O)
C	Input/ Output	内部被曝線量情報ファイル file name=[data directory]/[region name]/[area name] /DOSEINH/doseinh.model	RDS10(I) WDS30(O)
C	Input/ Output	内部被曝線量時刻ファイル file name=[data directory]/[region name]/[area name] /DOSEINH /doseinh.time	RDS30(I) WDS30(O)
C	Input/ Output	内部被曝線量データファイル file name=[data directory]/[region name]/[area name] /DOSEINH /time*.nuc* * : 1,2,3....	RDS30(I) WDS30(O)

(1) NAMELIST ファイル

計算条件の設定は、NAMELIST ファイルによって行う。NAMELIST ファイルの例とその解説を示す。この例では、1998年6月1日00時UTCから120時間分の計算を行い、結果を6時間間隔で出力する設定である。

内 容	
&GEARN	
ISNAME='ASIA',	地域名 : アジア
IRLFLG=1,	放出モード : 1=放出データファイルから入力, 0=単位放出
IOPEN=0,	出力ファイルの初期化 : 0=初期化する, 1=追加出力
RLAT=39.7833,	放出点緯度(deg.)
RLONG=125.7500,	放出点経度(deg.)
Z00=60.0,	放出地上高度(m)
REACT='GCR',	炉型 (BWR/PWR) , 他の炉型は BWR とみなす。
BURNUP=35000,	燃焼度(MWD/MtU) (Noble, Iodine の計算でのみ有効)
MAPTP='AREA1',	領域番号
IRTIM(1)=980601,	放出開始年月日(yymmdd)
IRTIM(2)=000000,	放出開始時分秒(ddmmss)
ISDTIM(1)=980531,	シャットダウン年月日(yymmdd)
ISDTIM(2)=000000,	シャットダウン時分秒(ddmmss)
ICSTIM(1)=980601,	計算開始年月日(yymmdd)

ICSTIM(2)=000000,	計算開始時分秒(ddmmss)
ITRACE=1200000,	計算継続時間(hhmmss)
IWIDRC=60000,	出力時間間隔(hhmmss)
&END	

この他に、BLOCK DATA で与えられた以下のパラメータをネームリストから変更できる。

MAXP,TFULL,SIGH0,SIGZ0,BOND,NSL,
TE, TS, WE, RADS, IWIDMT,HPASS

(2) 核種組成データファイル

希ガス及びヨウ素のシャットダウン時の組成比率を、炉型(BWR/PWR)及び 22 種類の燃焼度別に保存している。

読み込みは、サブルーチン NUCCRE 内で以下のフォーマットで行われる。

```

DO 10 II=1,2
  READ(NFL,600) REACIN
  DO 20 IJ=1,22
    READ(NFL,610) BURN(IJ),(AP(IJ,N),N=1,22)
  20 CONTINUE
  10 CONTINUE
C *** FORMAT ***
600 FORMAT(A8)
610 FORMAT(E15.7,22(/E15.7))

```

ファイルの内容を以下に示す。

BWR	炉型	} BWR の情報
0.2000000E+04	燃焼度	
0.1150934E-01	} 希ガス 15 核種の組成比率 合計が 1	
0.3083230E-03		
0.2764940E-01		
0.5537023E-01	} ヨウ素 7 核種の組成比率 合計が 1	
0.7838887E-01		
0.300000E+04	燃焼度	
PWR	炉型	
0.2000000E+04	燃焼度	

(3) 核種物理データファイル

対象とする放射性核種の物理定数等を、保存している。データは以下の順に核種毎に 1 レコードに保存されている。

IN: 核種のシーケンシャル番号

SPNAME: 核種名

DECAY :崩壊定数(s^{-1})

CNVAR :単位濃度の空気吸収線量率への換算係数 ((nGy/h)/(Bq/m³))

CNVDG :単位沈着量の空気吸収線量率への換算係数 ((nGy/h)/(Bq/m²))

CNVEA(3) :単位濃度の外部被曝線量率への換算係数(年齢別) ((nSv/h)/(Bq/m³))

CNVEG(3) : 単位沈着量の外部被曝線量率への換算係数(年齢別) ((nSv/h)/(Bq/m²))

CNVIE(3) : 単位放射能の内部被曝線量率(実効線量当量)への換算係数(年齢別) (Sv/Bq)

CNVIO(3) : 単位放射能の内部被曝線量率(臓器線量当量)への換算係数(年齢別) (Sv/Bq)

ORGAN : 決定臓器名

但し、年齢別データでは、1=成人、2=幼児、3=乳児の順である。

読み込みは、サブルーチン CIDE03 内で以下のフォーマットで行われる。


```

READ(17,'(1x,I9)') NNN
DO 10 I=1,NNN
  READ(17,100) IN,SPNAME(I),DECAY(I),CNVAR(I),CNVGD(I),
  /          (CNVEA(I,J),J=1,3),(CNVEG(I,J),J=1,3),
  /          (CNVIE(I,J),J=1,3),(CNVIO(I,J),J=1,3),ORGAN(I)
10 CONTINUE
100 format(I3,A8,e15.7,14e9.2,A8)

```

ファイルの内容を以下に示す。

60 ← 全核種数							
1Kr83m	0.1052000E-03	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2Kr85	0.2050000E-08	6.30e-04	0.0	4.20e-04	4.80e-04	5.50e-04	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3Kr85m	0.4298000E-04	3.34e-02	0.0	2.30e-02	2.60e-02	3.00e-02	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4Kr87	0.1514000E-03	1.86e-01	0.0	1.40e-01	1.60e-01	1.70e-01	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
44Cs136	0.6096000E-06	5.08e-01	6.34e-03	3.60e-01	4.00e-01	4.50e-01	4.90e-03
5.40e-03	6.50e-03	2.80e-09	5.70e-09	1.50e-08	1.80e-08	3.30e-08	6.60e-08 LUNGS
45Cs137	0.7326999E-09	1.40e-01	1.82e-03	9.80e-02	1.10e-01	1.20e-01	1.40e-03
1.50e-03	1.90e-03	3.90e-08	7.00e-08	1.10e-07	3.00e-07	5.20e-07	8.20e-07 LUNGS
46Ba140	0.6294000E-06	4.14e-02	6.38e-03	2.80e-02	3.20e-02	3.60e-02	4.10e-04
4.50e-04	5.50e-04	5.80e-09	1.20e-08	2.90e-08	4.20e-08	7.90e-08	1.70e-07 LUNGS

} 1レコード

(4) 粒子位置ファイル

サブルーチン RSTOUT が計算終了時に出力する粒子に関する情報を、保存するファイルである。以下の情報を保存している。このデータは、計算終了時刻から、次回継続して計算を行う場合に、粒子の初期分布データとしてサブルーチン PERCEL から入力する。データは以下のとおりである。

NTIMEC : 出力時刻(yymmddhhmmss)

NPLST : 粒子数

X(I), Y(I), Z(I) : 粒子 I の座標(m)

IMX(I), IMY(I), IMZ(I) : 粒子 I の含まれるセル番号

IRCY(I) : 粒子発生時間のインデックス (1=最後の Δt で発生、2=それ以前の Δt で発生)
 NSTL(I) : 粒子 I が含まれる層 (1=境界層、2=遷移層、3=対流層)
 PDT(I) : 粒子 I の発生からの経過時間(s)
 PTINDX(I) : 粒子 I の発生した時刻 (yymmddhh)
 Q(I,J) : 粒子 I が持つ核種 J の放射エネルギー(Bq)

出力は、サブルーチン RSTOUT 内で以下のフォーマットで行われる。

```

WRITE ( NOUT3, 6100 )  NTIMEC, NPLST
DO 4100 I = 1, NPLST
C   WRITE ( NOUT3 )
      WRITE ( NOUT3, 6200 )
*           X(I), Y(I), Z(I), IMX(I), IMY(I),
*           IMZ(I), IRCY(I), NSTL(I),
*           PDT(I), PTINDX(I),(Q(I,J) , J=1,NCLID)
4100 CONTINUE
6100 FORMAT ( A12,2I7 )
6200 FORMAT ( 3D15.7, 5I3, D15.7,A8,6(D15.7,1X))
C
    
```

(5) 放出データファイル

放出情報が正確に判明している場合及び任意の放出情報を与えたい場合に用いるファイルである。フォーマットは以下の通りである。各データはブランクで区切る。

(核種数) (核種名)

```

3 NOBLE IODINE CS137
(放出開始月日、時間) (放出終了月日、時間) (核種毎の放出率(Bq/h)) (放出高度)
970412 120000      970412 130000      100. 20. 1.      90.
970412 130000      970412 140000      200. 10. 5.      90.
    
```

放出率が時間によって変化する場合、行数を増やして記述することが出来る。

事故時など正確なデータが得られない場合は、モデル内でデフォルトで設定している放出率を用いる。デフォルトでは単位放出 (1Bq / h) を仮定している。これら二通りの設定の選択はネームリストの IRLFLG で行う (0 : 単位放出, 1 : 放出データファイル利用) 。

メインプログラム内の入力フォーマットを示す。

```

C
      READ( 60, '(I3,3A8)' ) NCLID,(NAME(IN),IN=1,NCLID)
200  READ( 60, *, ,END=288)
    
```

- . ISTIM(1),ISTIM(2),IETIM(1),IETIM(2),
- . (RRATE(IN),IN=1,NCLID),FZ00

(6) 地図設定ファイル

地図設定ファイルは、計算領域の位置、大きさ等を定義する。MAP ディレクトリに一個のみが存在し、名前は map.data に固定されている。例を以下に示す。2 レコードで構成され、各項目は1つ以上の空白で区切られた自由形式である。

(投影図法番号) (図法名)

103 MERCATOR

(原点経度、緯度) (左下点(km)) (X,Y データ数) (X,Y 軸長) (データ作成日)
 135.0000 35.0000 -3500.00 -4500.00 50 50 7000.00 7000.00 0 9611211820

(7) 地形データファイル

地形データファイルには、モデル格子点の m 単位の標高データが収録されている。地形データファイルの例を以下に示す。各レコードは9個のデータから構成され、各データは1個以上の空白で区切られている。例では各データは f7.2 の書式付であるが、データの書式は自由である。データは、領域の左下隅を起点として、左から右への走査を内側、下から上の走査を外側とした並びである。標準では C の入出力ルーチンでアクセスされるが、FORTRAN では次の入出力文でアクセス可能である。

```
READ(IUNIT,*)((H(I,J), I=1,NMLG), J=1,NMLT)
WRITE(IUNIT,' (9F8.2) ')((H(I,J),I=1,NMLG), J=1,NMLT)
```

(8) 風速データ設定ファイル

風速データ設定ファイルには、WSYNOP の出力である風速場データの格子定義が含まれる。例を以下に示す。各項目は自由形式で、1個以上の空白で区切られる。

(サイト名) (X,Y 軸長(km)) (Z 軸長(m)) (X,Y,Z データ数) (左下点(km))
 ASIA 6860.00 6860.00 10000.00 50 50 21 -3430.00 -4430.00
 50.00 171.05 334.21 539.47 786.84 1076.32 1407.89
 1781.58 2197.37 2655.26 3155.26 3697.37 4281.58 4907.89
 5576.32 6286.84 7039.47 7834.21 8671.05 9550.00 10450.00 } 鉛直高度格子

この例では、風速定義セル ($NCX \times NCY = 49 \times 49$ 個) の全体の大きさが 6,860 km \times 6,860 km であり、その左下隅が地図投影原点 (Fig. 1 の SLG, SLT) を原点として (-3430, 4430) km であることを意味している。風速は各風速定義セルの側面中央の位置で定義されているため、風速デー

タ NMX, NMY, NMZ の個数は $50 \times 50 \times 21$ 個である。

(9) 風速時刻ファイル

風速時刻ファイルには、風速データの時刻が記録される。ファイル名は固定である。風速データファイルは作成順に time1.data、time2.data のように命名されるため、これと時刻を対応させるためのファイルである。例を以下に示す。

	(ファイル番号)	(データ日時)	(GPV データ初期化日時)
	1	980524120000	980524120000
	2	980525120000	980525120000
	3	980526120000	980526120000
	4	980527120000	980527120000

(10) 風速データファイル

風速データファイルには、各格子点の m/s 単位の風速データがバイナリー形式で収録されている。データは、領域を I, J および K の順で走査した以下の並びである。

(((US(I,J,K), VS(I,J,K), WS(I,J,K), I=1, NMX), J=1, NMY), K=1, NMZ)

(11) 降水データ設定ファイル

降水データ設定ファイルは 1 レコードから構成され、風速データ設定ファイルの第 1 レコードと同様の形式である。

(12) 降水時刻ファイル

降水時刻ファイルの形式は、風速時刻ファイルと同一である。

(13) 降水データファイル

降水データファイルの形式は、地形データファイルと同一である。

(14) 濃度データ設定ファイル

濃度データ設定ファイルには、GEARN の出力である 3 次元濃度データの格子定義が含まれる。例を以下に示す。各項目は自由形式で、1 個以上の空白で区切られる。

(サト名)(原点経・緯度(度))(核種数)(X, Y 軸長 (km)) (Z(km)) (x,y,z データ数) (左下点(km))
 ASIA 125.7500 39.7833 1 6860.00 6860.00 10000.00 49 49 20 -3430.00 -4430.00
 NOBLE (放出核種名)

50.00	171.05	334.21	539.47	786.84	1076.32	1407.89	} 鉛直セルの中心座標(m)
1781.58	2197.37	2655.26	3155.26	3697.37	4281.58	4907.89	
5576.32	6286.84	7039.47	7834.21	8671.05	9550.00		

この例では、濃度定義セル (NCX×NCY=49×49 個) の全体の大きさが 6,860 km ×6,860km であり、その左下隅が地図投影原点 (125.75° , 39.7833°) を原点として(-3430, 4430) km であることを意味している。

(15) 濃度時刻ファイル

濃度時刻ファイルには、濃度データの時刻が記録される。ファイル名は固定である。濃度データファイルは作成順に time1.nuc1、time2.nuc1 のように命名されるため、これと時刻を対応させるためのファイルである。形式は、風速場時刻ファイルに同じである。

(16) 濃度データファイル

濃度データファイル time1.nuc1 には、1 番目の時刻における核種 1 の各格子点での Bq/m³ 単位の濃度データがバイナリー形式で収録されている。データは、領域を I、J および K の順で走査した以下の並びである。

(((ARCON(I,J,K),I=1,NCX), J=1,NCY), K=1,NCZ)

(17) 沈着量データ設定ファイル

沈着量データ設定ファイルの例を以下に示す。各項目は自由形式で、1 個以上の空白で区切られる。

(サイト名)(原点経・緯度(度))(核種数)(X, Y 軸長 (km)) (Z(km)) (x,y データ数) (左下点(km))
 ASIA 125.7500 39.7833 1 6860.00 6860.00 10000.00 49 49 -3430.00 -4430.00
 IODINE (放出核種名)

(18) 沈着量時刻ファイル

形式は、風速場時刻ファイルに同じである。

(19) 沈着量データファイル

沈着量データファイル time1.nuc1 には、1 番目の時刻における核種 1 の各格子点での Bq/m² 単位の沈着量データがバイナリー形式で収録されている。データは、領域を I、J の順で走査した以下の並びである。

(((SPCDP(I,J,K),I=1,NCX), J=1,NCY)

(20) 空気吸収線量率データ設定ファイル

空気吸収線量率データ設定ファイルの例を以下に示す。各項目は自由形式で、1 個以上の空白で区切られる。

(サト名)(原点経・緯度(度))(核種数)(X, Y 軸長 (km)) (Z(km)) (x,y,z データ数) (左下点(km))
 ASIA 125.7500 39.7833 3 6860.00 6860.00 10000.00 49 49 1 -3430.00 -4430.00
 IODINE CS137 TOTAL (放出核種名)

(21) 空気吸収線量率時刻ファイル

形式は、風速場時刻ファイルに同じである。

(22) 空気吸収線量率データファイル

空気吸収線量率データファイル time1.nuc1 には、1 番目の時刻における核種 1 の各格子点での $\mu\text{Gy/h}$ 単位の空気吸収線量率データがバイナリー形式で収録されている。データは、領域を I、J の順で走査した以下の並びである。

((AIRDSA(I,J),I=1,NCX), J=1,NCY)

(23) 外部被曝線量データ設定ファイル

外部被曝線量データ設定ファイルの例を以下に示す。各項目は自由形式で、1 個以上の空白で区切られる。z 方向には 3 層のデータがあり、第 1 層が成人、第 2 層が幼児、第 3 層が乳児のデータである。

(サト名)(原点経・緯度(度))(核種数)(X, Y 軸長 (km)) ((Z(km)) (x,y,z データ数) (左下点(km))
 ASIA 125.7500 39.7833 3 6860.00 6860.00 10000.00 49 49 3 -3430.00 -4430.00
 IODINE CS137 TOTAL (放出核種名)

(24) 外部被曝線量時刻ファイル

形式は、風速場時刻ファイルに同じである。

(25) 外部被曝線量データファイル

外部被曝線量データファイル time1.nuc1 には、1 番目の時刻における核種 1 の各格子点での mSv 単位の外部被曝線量データがバイナリー形式で収録されている。データは、領域を I、J の順で走査した以下の並びである。

((EXTDSA(I,J,K),I=1,NCX), J=1,NCY),K=1,3)

(26) 内部被曝線量データ設定ファイル

内部被曝線量データ設定ファイルの例を以下に示す。各項目は自由形式で、1 個以上の空白で区切られる。Z 方向 6 層の分類は 1 層から 3 層までが実効線量当量、4 層から 6 層が臓器線量で、年齢の並びは外部被曝線量当量と同じである。

```
(サイト名) (原点経・緯度(度)) (核種数)(X, Y 軸長 (km)) (Z(km)) (x,y,z データ数) (左下点(km))
ASIA 125.7500 39.7833 3 6860.00 6860.00 10000.00 49 49 6 -3430.00 -4430.00
IODINE CS137 TOTAL (放出核種名)
```

(27) 内部被曝線量時刻ファイル

形式は、風速場時刻ファイルと同じである。

(28) 内部被曝線量データファイル

内部被曝線量データファイル time1.nuc1 には、1 番目の時刻における核種 1 の各格子点での mSv 単位の内部被曝線量データがバイナリー形式で収録されている。データは、領域を I, J の順で走査した以下の並びである。

```
((INTDSA(I,J,K),I=1,NCX), J=1,NCY,K=1,6)
```

4.4 使用手順

ソースコードのコンパイルは互いにリンク可能な C コンパイラおよび FORTRAN コンパイラを用いる。C コンパイラによりあらかじめ共通入出力ルーチンのオブジェクトファイル(access*.o)が作成されている場合の、FORTRAN ソースコードのコンパイルおよびリンク用メイクファイルの例を示す。通常の場合、特別のオプションおよびライブラリは必要ない。

実行シェルスクリプトの例を以下に示す。例では、標準出力をファイル OUTD にリダイレクトしてある。モデルの出力は、Table 4 に示したファイルに行われる。

コンパイル用メイクファイル

```

F77      =      frtpx                # VPP compile command
F7OPT    =      -Oe                  # Compile option
F7LIB    =                        # FORTRAN library
LDOPT    =                        # Link option
LDLIB    =      -lssl2vp            # Linkage to JSSL
TARGET   =      gearm                # Executable file
# Source files
SRC      =      ¥
amain.f  calen.f      cide.f      cideb.f      cide03.f ¥
datchk.f dcy.f        dcz.f        depo.f        ¥
diffu.f  dividl.f    dpmap.f      ¥
dttos.f  ¥
mapfunc.f ¥
grand.f  ibl.f        inil2.f  ¥
input.f  istodt.f    level1.f
metmsh.f nucrcr.f    pckng.f    percel.f ¥
prise.f  rddata.f    rec.f      recds.f      prdecay.f ¥
rrout.f  rstout.f    source.f   tcvln.f      tintvl.f ¥
tranp.f  vmsset.f    vol1.f     vol2.f      rnmesh.f

OBJ      =      ${SRC:.f=.o}        # .o depends on .f

.f.o    :
```

実行シェルスクリプト

```

#!/bin/csh -f
setenv fu10 ./prwda21.nmlist
setenv fu16 ./nccreat.data
setenv fu17 ./nuclide.data
setenv fu60 ./rrate.data
setenv fu20 ./particle.data
# go
/WSPEEDI/GEARN/SRC/gearm >& ! ../SRC/OUTD
```


5. まとめ

世界版緊急時環境線量情報予測システム WSPEEDI の広域用 3次元濃度・線量予測モデル GEARN について、モデル方程式、コード内容、モデル使用法および関連情報をまとめた。GEARN は多数の粒子群をランダムウォークモデルで追跡することで、放射性物質の移流・拡散を計算するモデルであり、質量保存則を満たす風速場を計算する診断型モデル WSYNOP からの 3次元風速場を入力として、地形を考慮した数千 km スケールの 3次元濃度分布、地表沈着量、公衆への被曝線量を計算する。モデルの特徴は、1)広域に対応するための地図投影水平座標の導入、2)地形を考慮するための地形準拠 z^* 座標系の導入、3)大気の鉛直構造を考慮した鉛直拡散係数の使用、4)広域を対象とした際に合理的な水平拡散を得るための拡散係数の採用等である。

モデルを迅速かつ簡便に運用する目的で、WSPEEDI にはこの報告書に記載した内容の他に、気象庁 GPV データから WSYNOP 用入力データを作成するソフトウェア、世界地図データベースから計算対象領域の情報を切り出すためのソフトウェア、計算結果を可視化するためのソフトウェア群等が整備されている。これら支援ソフトウェア群はほとんどが GUI 化されており、マニュアルを必要としない程、操作は簡単である。ただし、これらの支援ソフトウェアは計算機の運用環境に依存し、その移行はケースバイケースであるためこれらに関する記述は行わず、本報告書ではモデル側から見た入出力ファイル形式までの記述にとどめた。一方、本報告書に記載したモデル本体部分は、UNIX-OS であれば機種間の移行は容易である。現在、VPP300、VPP500 および SUN ワークステーションで稼動している。

参 考 文 献

- 1) Chino, M., H. Ishikawa, H. Yamazawa, H. Nagai, S. Moriuchi: WSPEEDI(Worldwide Version of SPEEDI): A Computer Code System for the Prediction of Radiological Impacts on Japanese due to a Nuclear Accident in Foreign Countries, JAERI 1334, (1995).
- 2) 山澤弘実、茅野政道、永井晴康、古野朗子：緊急時環境線量情報予測システム（世界版）WSPEEDIの開発と検証、日本原子力学会誌、**39**, 881-892, (1997).
- 3) Imai, K., M. Chino, H. Ishikawa, M. Kai, K. Asai, T. Homma, A. Hidaka, Y. Nakamura, T. Iijima, and S. Moriuchi: SPEEDI: A computer code system for the real-time prediction of radiation dose to the public due to an accidental release, JAERI 1297 (1985).
- 4) 山澤弘実、茅野政道、古野朗子：世界版緊急時環境線量情報予測システム(WSPPEEDI)モデルコードー広域用3次元風速場モデル WSYNOP - , JAERI-Data/Code 98-022, (1998).
- 5) F.A. Gifford: Horizontal Diffusion in the Atmosphere: A Lagrangian-Dynamic Theory, Atmospheric Environment, **16**, 505-512, (1982).
- 6) G.A. Shemel: particle and Gas Dry Deposition: A Review, Atmospheric Environment, **14**, 983-1011, (1980).
- 7) H.D. Brenk and K.J. Vogt: The Calculation of Wet Deposition from Radioactive Plumes, Nuclear Safety, **22**, 362-271, (1981).
- 8) 原子力安全委員会指針集（改訂8版）：科学技術庁原子力安全局原子力安全調査室監修、大成出版社、(1994).
- 9) P.Jacob, H.Rosenbaum, N.Petoussi, M.Zankl: Calculation of Organ Doses from Environmental Gamma Rays Using Human Phantoms and Monte Carlo Methods, GSF Bericht 12/90
- 10) ICRP: ICRP Publication 71: Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 4, Inhalation Dose Coefficients, Pergamon Press, Oxford, (1995).
- 11) Report of the Task Group on Reference Man, ICRP Publication 23 PP343-347(1974)を転載した文献 8 (p.397)
- 12) ICRP Pub.30 : Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. Parts 1-3 with Supplement and Index. Pergamon Press, Oxford (1979-1982).
- 13) ICRP: ICRP Publication 72: Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 5, Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients, Pergamon Press, Oxford, (1996).
- 14) M.J. Bell: ORIGEN: The ORNL Isotope Generation and Depletion Code, ORNL-TM-7175, (1980).
- 15) L.T.Ritchie, D.J.Alpert, R.P.Burke, J.D.Johnson, R.M.Ostmeyer, D.C.Aldrich, R.M.Blond : CRAC2 Model Description, NUREG/CR-2552, (1984))

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	ジーメンス	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束照度	ルーメン	lm	cd·sr
放射線量	ルクス	lx	lm/m ²
放射線量当量	ベクレル	Bq	s ⁻¹
	グレイ	Gy	J/kg
	シーベルト	Sv	J/kg

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

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

(注)

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

換算表

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

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

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

エネルギー・仕事・熱量	J (=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft·lbf	eV
	1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻⁷	0.238889	9.47813 × 10 ⁻⁴	0.737562	6.24150 × 10 ¹⁸
	9.80665	1	2.72407 × 10 ⁻⁶	2.34270	9.29487 × 10 ⁻³	7.23301	6.12082 × 10 ¹⁹
	3.6 × 10 ⁶	3.67098 × 10 ⁵	1	8.59999 × 10 ⁵	3412.13	2.65522 × 10 ⁶	2.24694 × 10 ²⁵
	4.18605	0.426858	1.16279 × 10 ⁻⁶	1	3.96759 × 10 ⁻³	3.08747	2.61272 × 10 ¹⁹
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 ⁻⁷	0.323890	1.28506 × 10 ⁻³	1	8.46233 × 10 ¹⁸
	1.60218 × 10 ⁻¹⁹	1.63377 × 10 ⁻²⁰	4.45050 × 10 ⁻²⁶	3.82743 × 10 ⁻²⁰	1.51857 × 10 ⁻²²	1.18171 × 10 ⁻¹⁹	1

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(仏馬力)
 = 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

世界版緊急時環境線量情報予測システム (WSPEED) モデルコード (II) — 広域用濃度・線量予測モデル GEARN —