



# 放出放射性物質による緊急時線量シミュレーションシステム (SIERRA II) の開発

竹安 正則 武石 稔 中野 政尚 清水 武彦\*

東海事業所 放射線安全部  
\*大洗工学センター 安全管理部

Development of Simulation System (SIERRA-II) for Emergency Dose by Released Radioactive Substances

Masanori TAKEYASU Minoru TAKEISHI Masanao NAKANO Takehiko SHIMIZU\*

Radiation Protection Division, Tokai Works  
\* Health and Safety Division, Oarai Engineering Center

東海事業所及び大洗工学センター内にある原子力施設から放射性物質が異常放出した際の環境線量を評価するための計算手段として、放出放射性物質による緊急時線量シミュレーションシステム(SIERRA-II)を開発した。

SIERRA IIは、東海事業所及び大洗工学センターで連続測定されている局地気象観測データ等を入力データとして、事業所周辺の3次元風速場を計算する。そして、ランダムウォーク法に基づき、放出された放射性物質の移流・拡散を数値的に解くことにより、大気中の放射性物質濃度、内部及び外部被ばく線量を計算するシステムである。

東海再処理施設からのクリプトン-85(Kr-85)の管理放出に伴い、事業所敷地内のモニタリングステーション及びモニタリングポストで観測された空間放射線線量率の変動データを用いて、SIERRA IIの性能を評価した。

その結果、観測された線量率の経時変動パターンは良好にシミュレートできた。また、計算値と観測値は、ファクター2で30%、ファクター5で51%の一致度であった。

*A computer code system named SIERRA II (Simulation system (SIERRA-II) for emergency dose by released radioactive substances) was developed for calculating environmental dose when radioactive substances were released unexpectedly from the nuclear facilities at the Tokai Works and the Oarai Engineering Center (OEC).*

*Using the SIERRA II, three dimensional wind fields around the Tokai Works and OEC are calculated with local meteorological observation data, which are being measured continuously at the Tokai Works and OEC, and other data. Then, the advection and diffusion processes of released radioactive substances are solved numerically, based on a random walk method to estimate air concentration and internal and external exposure doses.*

*The performance of the SIERRA II was evaluated using the monitoring data of ambient radiation dose rate at monitoring stations and monitoring posts around the Tokai Reprocessing Plant under its normal operation.*

*The observed fluctuation of dose rate was simulated well by the SIERRA II. The agreements between its calculation and observation within a factor of 2 and 5 were 30% and 51%, respectively.*

## キーワード

緊急時、環境線量、線量予測、大気力学モデル、ランダムウォーク法、SIERRA II、Kr-85、モニタリングポスト、空間放射線、性能評価

*Emergency, Environmental Dose, Dose Prediction, Atmospheric Dynamic Model, Random walk Method, SIERRA II, Kr-85, Monitoring Post, Ambient Radiation, Performance Examination*



竹安 正則

環境監視課所属  
副主任研究員  
東海事業所周辺の環境監視業務に従事



武石 稔

環境監視課長  
東海事業所周辺の環境監視業務の総括



中野 政尚

環境監視課所属  
観測チームリーダー  
東海事業所周辺の環境監視業務に従事



清水 武彦

安全対策課所属  
環境監視チームリーダー  
大洗工学センター周辺の環境監視業務に従事

## 1. はじめに

原子力施設において、放射性物質または放射線の異常な放出が発生した、あるいは発生する可能性がある場合には、原子力事業者は、国及び地方公共団体等関係機関に異常事態が発生した旨の報告を迅速かつ正確に行わなければならない。その際、報告する項目として、主要な地点において予測される環境線量がある<sup>1)</sup>。

東海事業所では、東海再処理施設を対象として、放出された放射性物質による環境線量を計算するシステムとして、1979年に環境データ図形表示システム(DIAMOND)<sup>2)</sup>を開発した。DIAMONDは、気象条件及び放射性物質の放出状況がある条件で継続する場合の大気拡散を計算できるガウスブルームモデルに基づいていた。そのため、計算が簡便な一方、短時間で変動するような気象条件での計算には適していなかった。現在は、1997年に開発した緊急時環境影響シミュレーションシステム(SMAP)<sup>3)</sup>を運用している。SMAPは、放出された放射性物質を煙の塊(パフ)として取り扱うパフモデルを採用することにより、気象条件及び放射性物質の放出状態の時間的変化に即した計算ができる。このシステムは、1999年に発生したJCO臨界事故時に、JCOから放出された放射性希ガスの大気拡散を計算するために使用し、サイクル機構のモニタリングステーション及びモニタリングポストで観測された空間放射線線量率の変動を解析し、良い一致を見た<sup>3)</sup>。

パフモデルは、3次元のガウス分布を有する球形のパフを多数放出することにより放射性物質の大気拡散を近似することから、山岳地形のような起伏の多い複雑地形にパフが接した時などの拡散評価が十分とは言えない。そこで、放出された放射性物質を仮想粒子群で模擬し、粒子群の移流と拡散を数値的に解く計算コードが開発されている。この3次元粒子拡散コードでは、複雑地形上での放射性物質の拡散をパフモデルより詳細に計算できる。このような計算コードとしてシステム化されたものとしては、日本全国の原子力発電所に対し、近隣地方自治体の地域防災のために整備されたSPEEDIネットワークシステム<sup>4)</sup>がある。SPEEDIは、地方自治体が周辺住民の防災対策方

針を判断する目的で開発されたものであるため、原子力施設から数kmから数十km離れた住民の居住地域での線量計算に重点が置かれている。SPEEDIは数十km四方の領域の線量計算を実時間で行うために、計算の空間的分解能を最小200m四方と比較的大きくし、計算機への負荷を小さくしている。

これに対して、事故時に原子力事業者が評価しなければならない予測線量は、線量が最大となる地点付近での線量である。線量が最大となる地点は、排気筒の高さにもよるが、放射性物質が放出された施設から最大数kmの範囲内である。その範囲内には、モニタリングステーション及びモニタリングポストが設置され、空間放射線線量率等が測定されている。モニタリングポスト等の数は限られているため、線量の最大値を算出するためには、ポストのデータを空間的に補完する必要がある。放出が開始される前の時点では、測定値は得られていないため、線量を予測することも必要である。

本研究では、放出地点近傍の環境線量を計算するために、SIERRA (Simulation system ( ) for emergency dose by released radioactive substances)<sup>5)</sup>を開発した。SIERRA は、SPEEDIと同じく、放出放射性物質を粒子群として取り扱い、粒子群の移流・拡散を数値的に解くシステムである。SIERRA IIでは、放射性物質が放出される可能性のある施設から4km四方の範囲内は、空間的分解能を50mとして計算できるため、モニタリングポスト等のデータより正確に線量の最大値を評価することができる。予測気象データを用いることにより、放出が開始される前の時点での予測線量の計算も可能である。SIERRA は、すでに、敦賀地区及び東海・大洗地区において整備が終了し、稼働している<sup>5)6)</sup>。

本稿では、東海・大洗地区で整備したSIERRAの概要と性能の評価結果について報告する。SIERRAの性能評価には、東海再処理施設の通常運転時の計画的なクリプトン 85 (Kr 85) の大気放出に伴う事業所敷地内外のモニタリングステーション及びモニタリングポストでの空間放射線線量率の観測データを用いた。

\* 先に1994年にSPEEDIをベースとしたSIERRA(-I)を開発した。SIERRA は、SIERRA(-I)がベースとした計算コードと異なるコードをベースとしているため機能は異なる。しかし、原子力事業者が放出地点近傍の環境線量を計算するという同じ目的で開発されているため、SIERRA と命名した。

## 2. SIERRA の概要

### 2.1 機能とデータの流れ

SIERRA は、東海事業所と大洗工学センター内の施設で万が一の事故・トラブルが発生した時に放出される放射性物質による環境線量を実時間で計算する機能を持つ。この機能を実現するために、気象データと排気筒モニタデータをオンラインで自動取得するとともに、計算実行、結果の図形出力までの操作を簡単かつ迅速に行えるように GUI (Graphical User Interface) 化するなどして本システムを構築した。基本的な機能を表 1 に、データの流れを図 1 に示す。

対象施設は、東海事業所と大洗工学センター内の施設で、再処理施設、高速増殖実験炉「常陽」等の主要施設については、それらの排気筒情報をあらかじめ設定している。主要施設以外からの放射性物質の大気放出に対しても、任意の放出地点を放出高さとともに GUI 上で指定可能である。ただし、任意地点に放出口を設定した場合の放出率は、オフライン入力となる。

計算対象領域は、東海事業所と大洗工学センターを含んだ40km 四方、鉛直方向400mの領域とした。この領域での計算格子間隔は、水平方向1.25km、鉛直方向20mである。さらに、最大線量が出現すると予想される事業所近傍の4 km 四方については、計算格子間隔の大きい領域の中に格子間隔を小さくした領域を配置するネスト格子モデル<sup>7)</sup>を採用し、計算格子間隔を水平方向50m、鉛直方向20mとした。

計算は、過去の任意の時刻から、現在より最大48時間先までの期間に対して可能である。最大48時間先までの予測計算は、気象庁が数値計算による全地球の気象予報を行い、1日2回提供しているGPV (Grid Point Value, 風向・風速, 気圧, 気

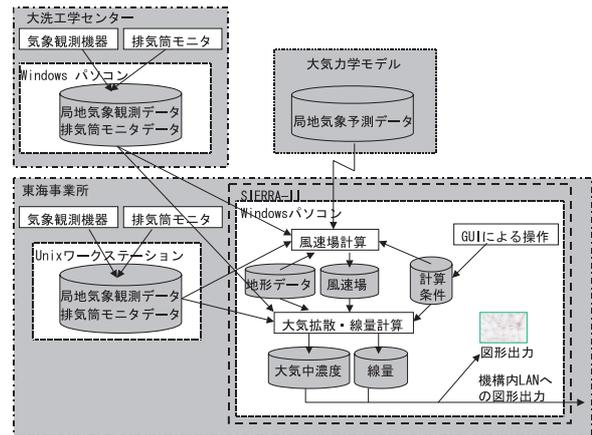


図1 データの流れの模式図

温、降水量等の20km間隔の予測値)をもとに、日本気象協会の大気力学モデル<sup>3)</sup>によりSIERRAの風速場計算用に計算した48時間先までの予測気象データ(風向・風速, 大気安定度, 降水量)を使用することにより実施する。具体的には、ひたちなか市にある原子力緊急時支援研修センターにおいて大気力学モデルにより計算されたSIERRA用の予測気象データを使用する。

入力データは、東海事業所と大洗工学センターの10分ごとの局地気象観測データ(風向・風速, 大気安定度及び降水量)と排気筒モニタデータ、並びに前述の大気力学モデルにより計算された1時間ごとの局地気象予測データ(風向・風速, 大気安定度及び降水量)である。東海事業所の風向・風速の観測データとしては、事業所敷地内外の2地点の地上のデータ、気象観測塔とドップラソータ(気流中の微小な温度変動によって後方散乱される音波のドップラ周波数偏移を利用して風速を計測する音波レーダの一種)により観測した2地点の地上30m, 70m高のデータがある。

表1 SIERRA IIの機能

項目	機能
計算対象領域と空間的計算分解能	東海事業所と大洗工学センターを含む水平方向40km × 40km及び鉛直方向400mの領域。空間的分解能は水平方向1.25km × 1.25km及び鉛直方向20m。東海事業所と大洗工学センターを中心とした水平方向4km × 4kmの領域は、水平方向50m × 50mの空間的分解能。
計算対象期間と時間的計算分解能	過去の任意時刻より、現在から最大48時間先までの期間。過去の期間については10分ごと、予測の期間については1時間ごと。
入力データ	東海事業所と大洗工学センターでの局地気象観測データと排気筒モニタデータ(10分ごと)及び大気力学モデルにより計算された局地気象予測データ(1時間ごと)。
出力データ	風速場のベクトル図, 大気中濃度と線量率の等値線図, 任意期間の最大線量。
操作環境	Windows PC上で動作。計算条件設定, 計算実行, 出力条件設定をGUI (Graphical User Interface) 上で設定可能。固定パラメータはあらかじめ設定し操作簡易化。

大洗工学センターの風向・風速のデータとしては、気象観測塔により観測した地上10m, 40m, 80m 高の3つのデータを用いている。予測気象データ(風向・風速)としては、東海事業所と大洗工学センターを含んだ40km四方の領域の中の20km間隔の計9地点の地上100m, 200m, 300m, 400mのデータ、さらに、2つの事業所の近傍では、事業所を中心とした12km四方の領域において、4km間隔の計16地点の地上100m, 200m, 300m, 400mのデータがある。

出力データは、10分ごとの風速場のベクトル図と等値線図、及び任意に設定した期間において積算した最大線量である。等値線図の対象は、空気吸収線量率、地表沈着放射性物質による外部被ばくに係る線量率、地表面における大気中核種濃度及び吸入摂取による内部被ばくに係る実効線量率である。

システムは、Windows OS搭載のパーソナルコンピュータ上で動作する。システムの操作は、計算条件設定、計算実行及び出力設定をGUIによる対話形式で迅速かつ簡便に実施することができる。計算に必要な地形情報、放射性核種情報等はあらかじめデータベースとして格納されており、GUIによる操作を簡便にしている。

## 2.2 モデル

### (1) SIERRA の計算の特徴

SIERRA では、計算コードとしてEXPRESS<sup>9)</sup>を採用し、種々の改良を加えた。EXPRESSは、移流・拡散方程式の数値解モデルを解くコードである。EXPRESSは、計算機への負荷を下げ、ワークステーション等の小型計算機で迅速に計算できるように開発されている。SIERRA は、さらに放出地点近傍の計算精度の向上等、種々の改良を行った。SIERRA の主な改良点は以下の通りである。

1) EXPRESSでは、Pasquill Giffordの線図<sup>10)</sup>から粒子の水平方向及び鉛直方向の拡散係数を導出している。Pasquill Giffordの線図から導出される拡散係数は、風下距離が大きくなるに従い大きくなり、風下距離数kmでほぼ一定値になる。また、EXPRESSでは、数kmから数十kmの住民の居住地域が計算対象領域であることから、鉛直方向の拡散係数としてPasquill Giffordの線図から導出される風下距離数kmでの一定

値を拡散係数として風下距離に係わらず用いている。SIERRA は風下距離が数百mから数km程度までを計算対象領域としていることから、EXPRESSで用いられた鉛直拡散係数の値は過大である。そのため、SIERRA では、拡散係数をPasquill Giffordの線図から、風下距離の関数として誘導される値を用いた。

2) 計算領域の中で、特に放出源近傍の領域に対して計算格子分解能を上げるネステッド格子を採用した。これは、計算格子分解能が1.25kmである東海事業所と大洗工学センターを含んだ40km四方の領域の中で、事業所近傍の4km四方に対してのみ計算格子分解能を50mとした格子配置である。この格子配置により、事業所近傍の計算の空間的分解能を上げつつ、計算時間と計算機への負荷を抑制した。

3) 拡散計算において、粒子状物質の重力沈降の効果を考慮できるようにした。その際、重力沈降の計算パラメータとなる粒子の粒径分布と粒径成長速度を核種ごとに設定できるようにした。

4) 湿性沈着の計算において、降水強度の空間的な分布を考慮できるようにした。EXPRESSでは、観測データを単純平均した降水強度の値を計算領域全体に対して用いていた。SIERRA では、降水強度の観測データから、観測位置から地表面計算格子点までの水平距離の2乗の逆数の重み付き平均により各格子点での局所降水強度を算出し、計算に使用した。

### (2) 計算の流れ

SIERRA での計算は、図1に示すように、風速場計算、大気拡散計算、濃度・線量計算の順で行う。以下に、計算方法を示す。

#### 1) 風速場計算

風速場の計算は、まず下記のの方法により風向・風速のデータを3次元格子点へ内外挿し、次にの方法により、質量保存則を満足するように風速場に最小の修正を加える。なお、先に領域全体の風速場計算を行い、その結果を事業所近傍の計算格子分解能の大きい領域の初期値として使用する。

#### 3次元格子点への重み付き内外挿

観測された、あるいは大気力学モデルによって予測された風向・風速データを、以下の式により、3次元格子点との水平距離と鉛直距離、及び3次元格子点との間に存在する地形障壁の高度により

重み付けをし、基準として設定した高度における格子点上の風速ベクトルへ内外挿する。

$$(u, v)_{i,j} = \sum_{k=1}^N (u, v)_k W_k / \sum_{k=1}^N W_k \quad (1)$$

$$w_k = w(r)w(h)w(h_b) \quad (2)$$

ここで  $(u, v)_j$  は基準高度における格子点  $(i, j)$  上の風速 ( $\text{m s}^{-1}$ )、 $N$  は観測地点の個数、 $(u, v)_k$  は地点  $k$  で観測または予測された風速 ( $\text{m s}^{-1}$ )、 $W(r)$  は観測地点  $k$  と格子点  $(i, j)$  との水平距離を関数とした観測地点  $k$  の荷重係数、 $W(h)$  は観測地点  $k$  と格子点  $(i, j)$  との鉛直距離を関数とした観測地点  $k$  の荷重係数、 $W(h_b)$  は観測地点  $k$  と格子点との間の地形障壁の高度を関数とした観測地点  $k$  の荷重係数である。

### 3次元質量保存風速場計算

(1) 式により得られた風速場に最小の修正を加えることにより、質量保存風速場を求める。この計算は、以下の式で表される風速場の修正量  $E$  を最小にする風速ベクトル  $(u, v, w)$  を求めることである。

$$E = \int \left[ \alpha_1^2 (u - u_0)^2 + \alpha_1^2 (v - v_0)^2 + \alpha_2^2 (w - w_0)^2 + \lambda \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right] dv \quad (3)$$

ここで、 $(u_0, v_0, w_0)$  はに求められた風速ベクトル、 $\lambda$  は水平方向の風速成分の修正量の相対的大きさを決める係数、 $\alpha_2$  は鉛直方向の風速成分の修正量の相対的大きさを決める係数、 $\lambda$  はラグランジュの未定乗数である。

### 2) 大気拡散計算

大気拡散の計算は、拡散方程式の数値計算をランダムウォーク法で行う。なお、風速場計算とは逆に、先に事業所近傍の計算格子分解能の大きい領域に対して拡散計算を行い、その結果を領域全体の拡散計算の初期値として使用する。

煙を粒子の集まりで表現した時、粒子群の移動は、3次元風速場による移流項と大気乱流に依存する拡散項の和で表される。ある時刻  $t$  において、 $(x_t, y_t, z_t)$  の位置に存在した粒子の  $t$  後の位置  $(x_{t+\Delta t}, y_{t+\Delta t}, z_{t+\Delta t})$  は、以下のように表される。

$$x_{t+\Delta t} = x_t + u\Delta t + (24K\Delta t)^{1/2} [-0.5, 0.5] \quad (4)$$

$$y_{t+\Delta t} = y_t + v\Delta t + (24K\Delta t)^{1/2} [-0.5, 0.5] \quad (5)$$

$$z_{t+\Delta t} = z_t + (w - V_s)\Delta t \pm [2K_{z_0} + (K'_{z_0} \Delta t)^2]^{0.5} + K'_{z_0} \Delta t \quad (6)$$

ここで、 $(u, v, w)$  は粒子位置での風速ベクトル ( $\text{m s}^{-1}$ ) で、風速場計算により求められる3次元格子点上の風速から粒子位置までの距離の逆二乗で重み付けした8点内挿により求める。 $K$  は拡散係数 ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ) で、Pasquill Giffordの線図から水平方向及び鉛直方向の粒子の拡散係数を導出する。さらに、 $[-0.5, 0.5]$  は  $-0.5 \sim 0.5$  の一様乱数、 $V_s$  は重力沈降速度 ( $\text{m s}^{-1}$ )、 $K_{z_0}$  は鉛直位置  $z_0$  における鉛直拡散係数、 $K'_{z_0}$  は鉛直位置  $z_0$  における鉛直拡散係数の導関数における傾きである。なお、核種の放射性崩壊に伴う減衰は考慮していない。

$V_s$  は、Stokesの法則に従う球形粒子の重力沈降に関する終末沈降速度とし、次式により計算する。

$$V_s = \frac{2 \times 10^{-12} r_p^2 (\rho_p - \rho_a) g}{9 \mu_a \rho_a} \quad (7)$$

ここで、 $r_p$  は粒子の半径 ( $\mu\text{m}$ )、 $\rho_p$  は粒子の密度 ( $\text{kg m}^{-3}$ )、 $\rho_a$  は空気の密度 ( $\text{kg m}^{-3}$ )、 $g$  は重力加速度 ( $9.8 \text{m s}^{-2}$ )、 $\mu_a$  は空気の動粘性係数 ( $1.5 \times 10^{-5} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ) である。

粒径分布と粒径成長速度は、核種ごとに設定できるようにした。

### 3) 濃度の計算

粒子がもつ質量 (放射能に相当) が粒子位置を中心としてガウス分布で拡がると仮定したKDE (Kernel Density Estimator) 法により、計算格子点の放射性物質濃度を計算する。評価点  $(x, y, z)$  における濃度 ( $\text{Bq m}^{-3}$ ) は以下の式で計算される。

$$\chi(x, y, z) = \sum_{i=1}^N Q_i \cdot (\chi/Q)_i(x, y, z) \quad (8)$$

$$(\chi/Q)_i(x, y, z) = \frac{1}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp\left\{-\frac{(x-X)^2}{2\sigma_x^2}\right\} \exp\left\{-\frac{(y-Y)^2}{2\sigma_y^2}\right\} \cdot \left[ \exp\left\{-\frac{(z-Z)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+Z-2z_g)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right] \quad (9)$$

ここで、 $N$  は粒子の総数、 $Q_i$  は粒子  $i$  が持つ放射性物質質量 ( $\text{Bq}$ )、 $(\chi/Q)_i(x, y, z)$  は位置  $(X, Y, Z)$  の粒子  $i$  が評価点  $(x, y, z)$  に与える濃度 ( $\text{m}^{-3}$ )、 $x, y, z$  は Pasquill Gifford の線図で

定義される拡散のパラメータ ( $m$ ),  $z_g$  は評価点 ( $x, y, z$ ) の直下の地表面の海拔高さ ( $m$ ) である。なお,  $(\chi/Q)(x, y, z)$  は, 粒子と評価点の距離及び  $x, y, z$  をパラメータとしてテーブル化し計算に使用する。

#### 4) 沈着量の計算

乾性沈着の場合, 位置 ( $X, Y, Z$ ) の粒子  $i$  が地表の評価点 ( $x, y, 0$ ) へ  $t$  の間に沈着する量  $G_d(x, y)$  ( $Bq m^{-2}$ ) は次式で計算する。

$$G_d(x, y) = Q_i \cdot (\chi/Q)_i(x, y, 0) V_g \Delta t \quad (10)$$

ここで,  $V_g$  は乾性沈着速度 ( $m s^{-1}$ ) である。

湿性沈着の場合, 位置 ( $X, Y, Z$ ) の粒子  $i$  が地表の評価点 ( $x, y, 0$ ) へ  $t$  の間に沈着する量  $G_w(x, y)$  ( $Bq m^{-2}$ ) は次式で計算する。

$$G_w(x, y) = [Q_i \{1 - \exp(-\Lambda \cdot \Delta t)\}] \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \cdot \exp\left\{-\frac{(x-X)^2}{2\sigma_x^2}\right\} \exp\left\{-\frac{(y-Y)^2}{2\sigma_y^2}\right\} \quad (11)$$

ここで,  $\Lambda$  は降雨洗浄率 ( $s^{-1}$ ) である。

$\Lambda$  は, 評価点 ( $x, y$ ) の局所降水強度  $R$  ( $mm h^{-1}$ ) を用いて, 次式で計算する。

$$\Lambda = \lambda \cdot P^{f(n)} \quad (12)$$

ここで,  $\lambda$  は洗浄率係数 ( $s^{-1}$ ),  $f(n)$  は洗浄率ベキ指数である。

#### 5) 空気吸収線量率の計算

空気吸収線量率  $D(x, y, 0)$  は次式で与えられる。

$$D_r(x, y, 0) = K_i E_{eff} \int_{-\infty-x}^{+\infty+x} \int_{-\infty-y}^{+\infty+y} \int_0^{+\infty+z} \frac{\mu_{en}(r) \exp(-\mu r) B(E_{av}, r)}{4\pi r^2} \cdot \chi(x', y', z') dx' dy' dz' \quad (13)$$

ここで,  $K_i$  は空気吸収線量率への換算係数 ( $dis m^3 nGy MeV^{-1} Bq^{-1} h^{-1}$ ),  $E_{eff}$  はガンマ線実効エネルギー ( $MeV$ ),  $\mu_{en}(r)$  は空気に対するガンマ線の真吸収係数 ( $m^{-1}$ ),  $r$  は放射性雲中の点 ( $x', y', z'$ ) から評価点 ( $x, y, 0$ ) 間までの距離 ( $m$ ),  $\mu$  は空気に対するガンマ線の全吸収係数 ( $m^{-1}$ ),  $B(E_{av}, r)$  は空気に対するガンマ線のビルドアップ係数,  $E_{av}$  はガンマ線平均エネルギー ( $MeV$ ) である。

空気吸収線量率の計算は, 各粒子を (8) 式の濃度分布を持ったパフ雲と考えて, 各パフからの吸収線量率の寄与を積算することで評価点での空気

吸収線量率を計算する。なお, (13) 式は, (8) 式の計算と同様に, 種々のパラメータについてテーブル化することにより計算する。

### 3. 性能評価

#### 3.1 東海再処理施設からの Kr 85 管理放出に伴う線量率の変動

東海事業所では, 再処理施設の排気筒 (地上高約 90m) から数百 m 離れた周囲敷地内 10 地点にモニタリングステーション及びモニタリングポストを設置している。これらのモニタリングステーション及びポストにおいて, 2 "x 2 " エネルギー補償型 NaI (TI) シンチレーション検出器により空間放射線線量率を連続測定している。空間放射線線量率の自然放射線による通常のレベルは, 場所及び時間により変動し, 30 ~ 40 nGy h<sup>-1</sup> である。

東海再処理施設では, 運転に伴い, Kr 85 を排気筒から大気中へ放出している。なお, Kr 85 は, 希ガスに属する不活性の気体であり, 半減期は 10.7 年, 0.514 MeV のガンマ線を 0.43% 放出する。不活性の気体であることから, 地表に沈着することなく大気中を拡散していく。Kr 85 の放出の際, 施設周辺に配置されたモニタリングステーション及びモニタリングポストで数 nGy h<sup>-1</sup> ~ 10 数 nGy h<sup>-1</sup> の空間放射線線量率の一時的な上昇が観測される。図 2 に, 線量率の上昇例を Kr 85 の放出率及び風向とともに示す。図 2 のように, 主に, 風下方位のモニタリングステーション・ポストで線量率のわずかな上昇が観測される。本研究では 2003 年 9 月から 2003 年 12 月までの再処理施設の運転中

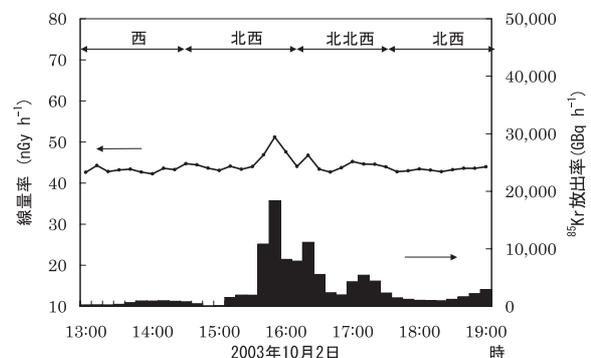


図 2 空間放射線線量率の一時的変動の例 (線量率観測地点: 排気筒から南東方向約 500m 地点, 風向: 気象観測塔で観測された排気筒高さの風向)

に観測された線量率の変動データを用いて、SIERRA の性能評価を行った。

### 3.2 計算と観測との比較

図3に、SIERRA により計算された線量率と観測された線量率との比較例を示す。ここで、観測値は、Kr 85の放出に伴う線量率の上昇成分は観測地点の平常の値（BG値）を差し引くことにより求めている。図3では、2003年11月5日の10時から11時にかけて比較的顕著な線量率上昇が観測されており、SIERRA の計算値は変動パターンも良く一致しているとともに、ピーク線量率をファクター2程度で良好にシミュレートできている。

図4には、計算された線量率と観測された線量率の散布図を示す。図4では、線量率の上昇が有意に観測されたときのSIERRA での計算値、及

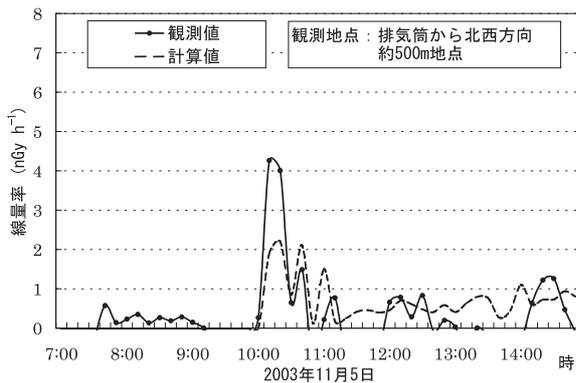


図3 空間放射線線量率の計算値と観測値の比較

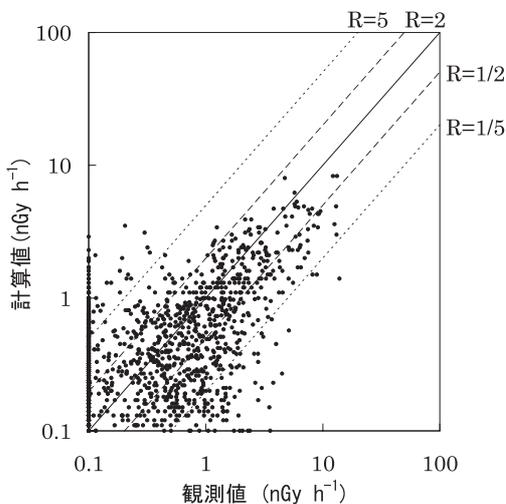


図4 空間放射線線量率の計算値と観測値の散布図

びSIERRA での計算値が有意になったときの線量率の観測値を示す。なお、SIERRA での有意な計算値とは、ここでは、 $0.1 \text{ nGy h}^{-1}$ 以上とした。観測値に対する計算値の比は、Rで示してある。各座標軸上の点は、 $0.1 \text{ nGy h}^{-1}$ 以下の観測値あるいは計算値である。ファクター2での一致度は30%、ファクター5での一致度は51%であった。

### 4. まとめ

東海事業所及び大洗工学センター内原子力施設を対象として、放出地点近傍における環境中の線量を評価するために、SIERRA を開発した。

東海再処理施設の平常運転時に、事業所敷地内で観測された空間放射線線量率の変動データを用いて、SIERRA の性能評価を行った。その結果、線量率の変動パターンは良好にシミュレートでき、また、有意線量率の値は、ファクター5で一致度は50%程度と良好であった。

### 5. 謝辞

原稿をまとめるにあたり、名古屋大学の飯田孝夫先生から有益な助言を頂きました。また、SIERRA の開発にあたり、日立エンジニアリング(株)の山本朝男氏と箭竹陽一氏にお世話になりました。また、予測気象データの取り込みにあたり、原子力緊急時支援・研修センター調査研究グループの平井功氏にお世話になりました。ここに感謝申し上げます。

### 参考文献

- 1) 原子力安全委員会：“原子力施設等の防災対策について”，2000年5月29日一部改訂（1980）。
- 2) 岩井誠，岡村泰治，他：“環境データ図形表示システムDIAMOND説明書（Rev.1）”，PNC I8430 86 10（1986）。
- 3) 竹安正則，清水武彦，他：“JCO臨界事故時の放出放射性物質の評価（時間変化）”，日本原子力学会2000年春の年会要旨集第1分冊，p16（2000）。
- 4) 茅野政道，石川裕彦，他：“SPEEDI：緊急時環境線量情報予測システム”，JAERI M 84 050（1984）。
- 5) 宮内和也，山本朝男，他：“緊急時環境モニタリング等に係る拡散予測システムの構築”，JNC TJ4410 2000 1（2000）。
- 6) M.Takeyasu, and M.Takeishi：“Real time Simulation of Environmental Dose in the Normal Operation of Tokai Reprocessing Plant by Dose Evaluation Computer Code (SIERRA)”，AOCRP 1, OP6C 3, Seoul, Korea, Oct(2002)。
- 7) T. Yamada, and S. Bunker：“Development of nested

grid, second moment turbulence closure model and application to the 1982 ASCOT Brush Creek data simulation”, J. Applied Meteorology, No.27, pp562-578(1988)

- 8) M. Nakanishi : “ Large eddy simulation of radiation fog ”, Boundary Layer Meteorology, No.94, pp461

493(2000)

- 9) M. Chino : “ Manual of a Suite of Computer Codes, EXPRESS ”, JAERI M 92 082(1992)

- 10) F. Pasquill : “ Atmospheric Diffusion ”, Ellis Horwood (1977) .