



環境線量当量評価に用いる環境パラメータ設定の一例について

篠原 邦彦

東海事業所安全管理部

資料番号：77-11

An Example of Selecting of Environmental Parameters to Use in Environmental Dose Assessment

Kunihiko Shinohara

(Health and Safety Division, Tokai Works)

原子力施設に係わる環境安全評価においては、施設の立地する地点における環境条件を考慮した適切なモデルを用いるが、その中で計算に用いる環境パラメータの設定が、適切な評価が行う上で重要である。

本稿では、陸上環境評価に用いる2つの重要なパラメータについて、その設定例を示している。

1. はじめに

原子力施設に係る環境安全評価においては、施設の立地する地点における気象条件、海象条件、農・畜産業、漁業等の実態を踏まえて適切なモデルを設定し、このモデルを基に計算コードを選定あるいは開発して評価に用いている。各種の評価モデルおよび計算コードが、事業団を含む多くの機関において開発および公開されており、これらを用いることが可能である。^{1) 2) 3)}

したがって、環境評価上計算コードにおいて用いる環境パラメータの設定は非常に重要である。本稿では、環境パラメータ設定の一例として陸上環境の評価に着目して、評価上重要度の高い環境パラメータについて、具体的な数値を設定するうえでの基本的考え方、設定例などを示している。

2. 環境パラメータ設定の基本的考え方

東海事業所安全管理部において環境評価に用いている環境パラメータの設定の基本的な考え方は、次のとおりである。

- 1) 東海事業所周辺環境において適切な現地フィールド・データが得られている場合には、これを用いる。
- 2) 適切な現地フィールド・データが得られていない場合には、我々原子炉施設の環境評価で実績のある、「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標

値に対する評価指針について」⁴⁾ (以下、「軽水炉評価指針」という) および「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量当量評価について」⁵⁾ (以下、「線量当量評価について」という) を参考とする。

- 3) 現地フィールド・データおよび「軽水炉評価指針」ならびに「線量当量評価について」でも得られない場合には、米国で実際に原子力発電所の評価に広く用いられている米国原子力規制委員会の Regulatory Guide 1.109⁶⁾ を参考とする。
- 4) 上記いずれでも得られないパラメータについては、各種文献から適切な値を選定する。

3. 陸上環境線量当量評価に用いる環境パラメータとその設定方法

原子力施設から放出される排気中に含まれる微量の放射性核種は、大気中を拡散していく過程で、重力による沈降、化学吸着、衝突、降水などにより地表や植物上に沈着することが考えられる。沈着により植物に取り込まれた放射性核種の濃度は、第1式のように与えられる。¹⁾

$$C = \chi V_f \left[\frac{r(1-e^{-\lambda E t_f})}{Y\lambda_k} + \frac{B(1-e^{-\lambda t_b})}{P\lambda} \right] \quad (1)$$

ここで、

C : 植物中放射性核種濃度(Bq/g・生)

χ : 空气中放射性核種濃度(Bq/cm³)

- V_d : 沈着速度 (cm/s)
 r : 植物上に直接沈着した放射性核種の内、可食部へ移行する割合
 λ_E : 植物表面からの放射性核種の実効除去係数 (1/s)
 t_E : 植物表面への沈着期間(s)
 Y : 植物の栽培密度(g/cm²)
 B : 土壌中の放射性核種が根を通して植物可食部へ移行する割合
 (Bq/g・生per Bq/g・乾)
 λ : 放射性核種の放射性崩壊定数 (1/s)
 t_0 : 放射性核種の地表面への沈着継続時間(s)
 P : 植物を栽培する土壌の実効面密度(g・乾/cm²)

第1式に用いる環境パラメータの内、評価結果に最も大きく影響するものは V_d および r であり、これらについて環境評価に用いる値について検討する。

(1) 沈着速度(V_d)

空气中放射性核種の地表面あるいは植物への沈着現象は、空気力学的な影響による乾性沈着と降水による湿性沈着に大別できる。⁷⁾

サブミクロン粒子や気体状物質は、重力の影響よりむしろ植物などへの衝突、乱流拡散、分子拡散、静電気、化学反応などの作用により沈着する。⁷⁾このような沈着現象を乾性沈着と呼び、沈着速度(V_d)は第2式で定義される。

$$V_d = \frac{\text{単位時間に単位面積あたりに沈着した放射能(Bq/cm}^2\text{/s)}}{\text{沈着表面付近の空气中濃度(Bq/cm}^3\text{)}} \quad (2)$$

乾性沈着速度については、各種文献に多くの実験データ、理論計算値などが示されている。^{7) 8) 9)}

Sehmelは、気体状および粒子状物質の乾性沈着速度について、多くの実験データを整理している。⁷⁾これらの内、核燃料サイクル施設の環境評価に参考となるヨウ素および粒子状物質の植物および土壌表面への沈着速度をまとめると、有機ヨウ素で0.0001~0.01cm/s、元素状ヨウ素で0.08~8.0cm/sが与えられている。また、粒子状物質については、0.004~5.4cm/sとなっており、全体的には元素状ヨウ素の沈着速度と同程度か、わずかに小さい傾向にある。

米国放射線防護測定審議会(NCRP)の報告書No.76には、乾性沈着速度の元素別の範囲と評価に用いられる典型的な例が示されている。⁸⁾これによると、例えば粒子状プルトニウムについては0.0026~0.018cm/s、粒子状ルテニウムについては0.02~2.3cm/sが与えられており、元素状ヨウ素については0.02~26cm/sが示されている。また、環境評価に用

いられる典型的な例としては、元素状ヨウ素について1cm/sが、また粒子状物質について0.1cm/sが示されている。

Wershorenらは、カールスルーエ原子力研究所周辺環境におけるヨウ素同位体の測定結果から、乾性沈着速度として0.58±0.26cm/sを得ている。⁹⁾

湿性沈着速度については、平常時評価に用いる方法としては、ウオッシュアウト比法と呼ばれる手法が用いられるが⁸⁾、この方法では降水による沈着速度を求めこれと乾性沈着速度の和を評価上の沈着速度として用いる。

湿性沈着速度(V_w)は、第3式のように与えられる。

$$V_w = W_r \cdot P_d \quad (3)$$

ここで、

V_w : 湿性沈着速度 (cm/s)

W_r : ウオッシュアウト比

P_d : 降水率 (cm/s)

ここで、ウオッシュアウト比は地表面における降水中放射性核種濃度と地表付近の空气中放射性核種濃度の比として定義されている。⁸⁾

湿性沈着速度は、我国では実験データがほとんど得られていないが、Sehmelの文献⁷⁾に与えられたウオッシュアウト比と東海事業所における年間降水率(約4×10⁻⁶cm/s)を用いると、多くの核種を含む値として0.004~0.4cm/sが得られる。

東海事業所周辺におけるフィールド・データとしては、昭和57年から昭和62年の間に調査した土壌中と空气中のヨウ素同位体濃度から、降水期間も含む沈着速度として0.76±0.19cm/sを得ている。また、昭和61年4月のチェルノブイル原子力発電所事故の際に実施した特別モニタリングの結果として、降水期間も含むヨウ素-131の牧草上への沈着速度として0.69±0.58cm/sを得ている。¹⁰⁾

一方、「線量当量評価について」においては、葉菜および土壌への沈着速度として、核種によらず1cm/sを用いている。

以上は、表1のようにまとめられるが、沈着速度には非常に大きな幅のあることが明らかである。本表を基に環境パラメータ設定の基本的考え方に従うと、放射性ヨウ素については東海事業所周辺におけるフィールド・データが得られていることから、降水時も含む沈着速度として1cm/sを用いることが妥当であると考えられる。粒子状物質については、文献調査の結果では一般的に元素状ヨウ素より乾性沈着速度が小さい傾向にあり、0.1cm/sを評価上の最適値とする文献もある。また、降水による湿性沈着速度については、乾性沈着速度と同程度かそれ以下

表1 ヨウ素および粒子状物質の沈着速度

文献など	ヨウ素	粒子状物質	備考
Sehmel	元素状: 0.08~8.0cm/s 有機形: 0.0001~0.01cm/s	0.004~5.4cm/s	乾性沈着
		0.004~0.4cm/s	湿性沈着
NCRP	元素状: 0.02~26cm/s 評価に用いる典型的値: 1 cm/s	0.0028~2.3cm/s Pu: 0.026~0.018 Ru: 0.02~2.3 Cs: 0.04~0.6 Sr: 0.002~0.01 評価に用いる典型的値: 0.1 cm/s	乾性沈着
Wershoren	0.58±0.26cm/s		乾性沈着
東海フィールド・データ	ヨウ素同位体: (I-127, I-129) 0.76±0.19cm/s チェルノブイル事故 I-131: 0.69±0.58cm/s		乾性沈着および 湿性沈着を含む

であることから、降水時を含めても粒子状物質の沈着速度は元素状ヨウ素と同程度かそれ以下であると考えられる。したがって、フィールド・データの得られていない粒子状物質については、「線量当量評価について」および各種文献を参考としても、元素状ヨウ素と異なった値を設定する根拠はなく、降水時も含む沈着速度として1 cm/sを用いることが環境線量当量評価上妥当であると考えられる。

(2) 植物上に直接沈着した放射性核種の内、可食部へ移行する割合(r)

植物上に直接沈着した放射性核種の内、可食部へ移行する割合(r)についての実験データは少ない。特に我国の主食である米についてのデータは非常に少ない。米国NRCのRegulatory Guide 1.109を参考とすると、葉菜および牧草について、沈着した放射性核種がすべて植物上に保持されるという安全側の仮定とした場合、放射性ヨウ素1.0、粒子状物質0.2 (スプリングラー灌漑では0.25) が得られる。⁶⁾ 東海事業所周辺におけるフィールド・データとしては、昭和57年から昭和63年間に事業所周辺で調査した植物可食部中と空気中のヨウ素同位体濃度から、米について0.01以下、葉菜について0.2以下および牧草について0.3以下という結果を得ている。したがって、放射性ヨウ素についてはフィールド・データから、米0.01、葉菜0.2および牧草0.3を用いることが妥当であると考えられる。それ以外の核種については、より適切なデータが得られるまで米国NRCのRegulatory Guide 1.109を参考として、葉菜および牧草について0.2を用いる。米については、米国での小麦へのプルトニウム移行に関する実験データなど¹¹⁾ が発表されているが、水稻との生育条件の違いがありそのまま採用することはできない。Soldatはヨウ素-129による環境評価において、穀類の表面に付着したヨウ素の可食部

への移行率を0.1と与えており、rとしてはこれに穀類表面での沈着物質保持率0.25を乗じた0.025を用いている。¹²⁾ 穀類表面での保持率については、核種によって異なることも考えられるため、安全側に評価する場合にはこれを1.0とし、rとして穀類の表面に付着したヨウ素の可食部への移行率0.1を採用することが考えられる。

rについての検討結果を、第2に示す。

4. まとめ

本稿では、東海事業所安全管理部における環境パラメータの設定の考え方を示すとともに、陸上環境評価に用いる2つの重要なパラメータについて設定方法に関する検討例を示した。例として示したパラメータの内、沈着速度については各種文献に豊富なデータが示されており、また東海事業所周辺環境でのフィールド・データも得られている。このような場合については、フィールド・データを基本としつつ、内外での環境評価において幅広く用いられている数値を採用し、これと文献値が矛盾のないように説明できることを確認することが必要である。

表2 植物上に直接沈着した放射性核種が可食部へ移行する場合

文献など	ヨウ素	粒子状物質
Regulatory Guide 1.109	葉菜: 1.0 牧草: 1.0	葉菜: 0.2 草: 0.2
Soldat	穀類: 0.1 (植物表面から可食部への移行率)	
東海フィールド・データ	米: 0.01以下 葉菜: 0.2以下 牧草: 0.3以下	

一方の例である。植物上に直接沈着した放射性核種の内、可食部へ移行する場合は、文献値、フィールド・データともに十分ではない。これについても、フィールド・データを基本としつつ、内外での環境評価において幅広く用いられている数値を採用すべきであるが、十分なデータが得られず不確かさの大きいものについては近似的数値を参考とした安全側のパラメータを設定することが必要になってくる。

参考文献

- 1) 森原邦彦、浅野智宏、成田 修：ORION-II：原子力施設からの放射性物質の大気放出に起因する環境中濃度及び被ばく線量を評価するための計算コード、PNCTN8410 87-17 (1987)。
- 2) R.E. Moore, C.F. Baes, L.M. McDowell-Boyer, A.P. Watson, F.O. Hoffman, J.C. Plessant and C.W. Miller, AIRDOS-EPA: A computerized methodology for estimating environmental concentrations and dose to man from airborne releases of radionuclides, EPA520/1-79-009 (1979)。
- 3) 北原義久、成田 修、浅野智宏：再処理工場の平常運転に伴い大気放出される ^{85}Kr に起因するクラウド・ガンマ被ばく線量計算プログラム：KR85G, PNCT841-81-44 (1981)。
- 4) 発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針について、原子力安全委員会、平成元年3月27日改訂。
- 5) 発電用軽水型原子炉施設周辺の安全基準における一般公衆の線量目標評価について、原子力安全委員会了承、平成元年3月27日。
- 6) U.S.NRC: Calculation of annual doses to man from routine releases of reactor effluents for the purpose of evaluating compliance with 10 CFR 50, Appendix I, Regulatory Guide 1.109 (1977)。
- 7) G.A. Sehmelt: Deposition and resuspension. In Atmospheric science and power production edited by D.Randerson, DOE/TIC-27601 (1984)。
- 8) NCRP: Radiological assessment: Predicting the transport, bioaccumulation, and uptake by man of radionuclides released to the environment, NCRP Report No.76 (1983)。
- 9) H.Wershoren and D.C.Aumann: Dry deposition velocity of iodine-129 onto grass as obtained by field measurements in the environment of a nuclear fuel reprocessing plant, J.Radioanal, Nucl. Chem. Vol.137, No.5 (1988)。
- 10) 木下 隆：ソ連チェルノブイル原子力発電所事故に伴う特別環境放射能調査、PNCT N8420 86-10 (1986)。
- 11) K.W. McLeod, D.C. Adriano, A.L. Boni, J.C. Corey, J.H. Horton, D. Paine and J.E. Pinder, Influence of a nuclear fuel chemical separations facility on the plutonium contents of a wheat crop, J.Environ. Qual., Vol.19 (1980)。
- 12) J.K. Soldat: Radiation doses from iodine-129 in the environment, Health Physics, Vol.30 (1976)。