

運用上の介入レベルに基づく被ばく線量計算手法の検討 - OIL1, 2用再浮遊係数の評価 -

Study on Dose Calculation Method for Operational Intervention Level
- Evaluation of the Resuspension Factor for OIL1 and OIL2 -

吉田 至孝 (Yoshitaka Yoshida) *1 高橋 俊佑 (Shunsuke Takahashi) *2

要約 運用上の介入レベル (Operational Intervention Level: OIL) は, 原子力災害対策指針において, 全面緊急事態 (General Emergency: GE) に該当してから数時間以降, 1週間以内に緊急時防護措置を準備する区域 (Urgent Protective Action Planning Zone: UPZ) およびUPZ外に対する防護措置を行う判断となる指標である。このうち緊急時防護措置 (OIL1) および早期防護措置 (OIL2) の被ばく経路は, 沈着した放射性物質によるグラウンドシャイン, 再浮遊による吸入, 不注意な経口摂取とされている。再浮遊係数は, 沈着した放射性物質の再浮遊による被ばく線量の計算に用いられ, 一般的に $10^{-4} \sim 10^{-10} \text{ (m}^{-1}\text{)}$ とされており, これまでは $10^{-4} \text{ (m}^{-1}\text{)}$ を用いてきたが, その根拠は明確でなかった。本研究では, チェルノブイリ事故ならびに福島第一原発事故時の再浮遊係数実測データを分析して, OIL1およびOIL2に基づく被ばく線量評価に用いる再浮遊係数を評価し, 試算を実施した。その結果, 再浮遊係数は, 事故からの経過時間と対数反比例関係にあり, かつ人的擾乱や火災による影響が認められ, OIL1用は $8.1 \times 10^{-5} \text{ (m}^{-1}\text{)}$, OIL2用は $6.2 \times 10^{-6} \text{ (m}^{-1}\text{)}$ と評価した。試算結果から, ヨウ素131によるOIL1被ばくにおける再浮遊物質吸入による影響が16~37%程度みられたが, セシウム137やOIL2被ばくにおける再浮遊物質吸入の影響は僅かであった。OIL2被ばくにおける再浮遊物質吸入の寄与割合は, これまで用いてきた再浮遊係数と比べて大きく低下した。

キーワード 原子力防災, 運用上の介入レベル, 被ばく線量, 再浮遊係数

Abstract In the guideline for nuclear disaster countermeasures, the operational intervention level(OIL)is an index for decision making of protective measures to be applied in an urgent protective action planning zone(UPZ)and in the zone immediately outside it, for the period starting several hours after a general emergency is declared to within a week after this. The significant pathways of exposure of the urgent protective actions(OIL1)and the early protective actions(OIL2)were the ground shine from radioactive materials deposited on the ground, inhalation due to the resuspension of deposited radioactive materials and the inadvertent ingestion of soil. The resuspension factor(RF)is used for dose calculation of an inhalation of resuspended radioactive materials and generally made in the range of $10^{-4} - 10^{-10} \text{ (m}^{-1}\text{)}$, we used $10^{-4} \text{ (m}^{-1}\text{)}$ up to now. But the technical basis for this was unclear. In this study, we evaluated the RF measured data of the Chernobyl accident and the Fukushima Daiichi accident collected from academic papers, estimated the RF for the dose calculation based on OIL1 and OIL2, and executed the test calculation. As a result, we found the RFs were an inverse proportion of logarithms by elapsed time from the accident. The RFs of human activities and fire were greater than those of stable condition. The estimated RF for OIL1 was $8.1 \times 10^{-5} \text{ (m}^{-1}\text{)}$, and that for OIL2 was $6.2 \times 10^{-6} \text{ (m}^{-1}\text{)}$. By the test calculation results, the percentage of resuspension substance inhalation dose (RSID) was about 16 - 37 % in the OIL1 dose by iodine 131, but the influence of RSID in the OIL1 dose by cesium 137 and that in the OIL2 dose were very small. The percentage of the RSID in the OIL2 dose decreased greatly compared with that calculated by the past RF.

Keywords nuclear emergency preparedness, operational intervention level, radiation dose, resuspension factor

*1 (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所 (現(一社)原子力安全推進協会)

*2 関西電力(株)

1. 緒言

運用上の介入レベル (Operational Intervention Level: OIL) は、原子力災害対策指針⁽¹⁾において、全面緊急事態 (General Emergency: GE) に該当してから数時間以降、1週間以内に緊急時防護措置を準備する区域 (Urgent Protective Action Planning Zone: UPZ) およびUPZ外に対する防護措置を行う判断となる指標であり、国際原子力機関 (IAEA) が示す基準⁽²⁾を参考に緊急時防護措置 (OIL1, OIL4), 早期防護措置 (OIL2), 飲食物摂取制限 (スクリーニング基準, OIL6) の初期設定値が定められている。

初報⁽³⁾では、OILに基づく被ばく線量計算式および使用する線量換算係数等について述べた。この中で、年間飲食物摂取量データの不確かさ、再浮遊係数の不確かさ、内部被ばく線量の評価期間の取り扱い、測定されない元素および同位体による影響の4項目について課題を提起した。前報⁽⁴⁾では、このうちOIL6に用いる年間飲食物摂取量データについて評価した。残された課題のうち、OIL1およびOIL2に用いる再浮遊係数については、JAEAが評価に使用している再浮遊係数評価式⁽⁵⁾に基づき設定していたが、その根拠は明確でなかった。また、米国では1990年にNUREG-1150で5つの原子力発電所のシビアアクシデントリスクが評価された際に、環境影響リスクを評価するためのパラメータとして再浮遊係数が示されている⁽⁶⁾。しかし、1980年以前の知見に基づくものであったため、チェルノブイリ事故の知見は反映されていない。その後、2012年にNUREG-1935でSOARCAプロジェクトの報告がまとめられた際においても、NUREG-1150で使用された再浮遊係数がそのまま使用されている⁽⁷⁾。よって、チェルノブイリ事故ならびに福島第一原子力発電所事故を踏まえ、過去に評価された再浮遊係数データが掲載された文献を収集して、再浮遊による被ばく線量への影響を確認しておく必要がある。

OIL1およびOIL2は、プルーム通過後の土壌沈着した放射性物質による被ばくを対象としており、汚染土壌からの外部被ばく、汚染土壌から再浮遊した放射性物質の吸入による内部被ばく、汚染土壌の不注意な経口摂取による内部被ばくを対象としている。再浮遊係数は、一般的に事故初期において $10^4 \sim 10^6$ (m^{-1})、その後は $10^8 \sim 10^{10}$ (m^{-1}) とされており、初報において、 10^4 (m^{-1}) を用いてOIL1お

よびOIL2に基づく被ばく線量を試算した結果、再浮遊物質吸入による内部被ばく線量が占める割合は、OIL1では最大42.4%、OIL2では最大33%になることがわかった。よって、再浮遊係数の桁が変化すると内部被ばく線量が大きく変化することから、設定根拠を明確にするとともに不確かさを把握しておく必要がある。

本報告では、チェルノブイリ事故ならびに福島第一原子力発電所事故時の再浮遊係数実測データに着目して、情報を収集するとともに、事故発生からの経過時間や他の要因による再浮遊係数への影響を調べ、OIL1およびOIL2に基づく被ばく線量評価に用いる再浮遊係数を評価したので、その成果と今後の課題について述べる。

2. 再浮遊係数データの評価

再浮遊係数とは、放射性物質放出源からの放出は無視できるような状況下において、土壌に沈着した放射性物質が再度空気中に浮遊する割合を、(1)式で求めたものである。

$$U(i) = \frac{B_{air}(i)}{B_{dep}(i)} \quad (1)$$

ここで、

U : 再浮遊係数 (m^{-1})

B_{air} : 浮遊放射能濃度 (Bq/m^3)

B_{dep} : 沈着放射能濃度 (Bq/m^2)

i : 核種

福島第一原子力発電所事故時に多くの環境モニタリングが実施され、原子力規制委員会ホームページ上で測定値が公開されているが、同一日時、同一地点において浮遊放射能濃度と沈着放射能濃度が測定され、再浮遊係数を求めることが可能なデータは殆どみあたらない。

そこで、学術論文を中心に再浮遊係数の実測データを収集することとした。

2.1. 文献調査の概要

文献調査では、再浮遊係数 (Resuspension Factor) をキーワードとして学術論文データベース等を検索した結果、実測データと思われる数値が記載された文献を41件抽出した。

抽出された文献を調査した結果、再浮遊係数は以下の5つの要因による影響があることが示唆された。

- ① 沈着からの経過時間（土壌浸透，有機化合物の生成など）

Garger (1995)⁽⁸⁾ らは，事故から117日後 10^{-7} m^{-1} 程度であった再浮遊係数は，1957日後には 10^{-10} m^{-1} 程度の値となることを示した。

- ② 人的擾乱（交通量，産業活動など）

一般的に，除染作業や車両の通過，農作業などの人的擾乱が再浮遊係数を上昇させる。Wagenpfeil (1999)⁽⁹⁾ らは，チェルノブイリ事故後の実測値から，人的攪乱によって再浮遊係数が1000倍近く上昇することを示した。Garger (1994)⁽¹⁰⁾ は，集中的な除染作業が行われていた地域は他の地域と比べて大気中濃度が高くなっていることを示した。GarlandとPomeroy (1994)⁽¹¹⁾ は，日に1～2時間しか利用されない駐車場でも，草原と比較すると再浮遊係数が20倍程度高いことを示した。飽本(2014)⁽²¹⁾ は，平日に利用の多い駐車場では，週末になると再浮遊係数が著しく低下することを示した。

- ③ 放射性物質が付着した粒子の特性（粒径，化学物質特性など）

一般的に，再浮遊係数は粒子径が大きくなるにつれて増加する。これは，揚力が風速および粒子面積に伴い上昇するためと考えられる。粒径が十分小さいと，風による動かす力に対する付着力の割合が大きくなり，急激に限界摩擦速度が上昇するためである。Garger (1996)⁽¹²⁾ らは，かなり耕作された地域では，直径 $15\mu\text{m}$ 以上の粒子の再浮遊係数が大きく，直径 $20\mu\text{m}$ 以下の粒子の場合，粒径と再浮遊係数との間に正の線形の相関関係があることを示した。

- ④ 沈着した土壌の特性（植生，有機物，水分量など）

一般的に，土壌が沼地のように湿分飽和しているかぎり再浮遊は起こらない。また，植生があると再浮遊係数は減少する。黒ボク土のような風食を受けやすい土壌は再浮遊係数が上昇する傾向にある。

- ⑤ 気象特性（風雨，湿度など）

一般的に，再浮遊係数は風速が増すに従い

上昇し，降水量が増加すると低下する。飽本(2014)⁽²¹⁾ は，福島事故後の計測において，降水量が湿度と共に減少し風が強まる冬から春にかけて再浮遊係数が増加し，降水量や湿度が増加する夏から秋にかけて減少することを示した。

これらの知見を踏まえて文献を精査し，データ出典元が同一である文献等を統合するとともに，再浮遊係数測定時における沈着後の経過時間が特定できない文献を除外することにより，最終的に13文献^{(8)~(20)}に整理した。再浮遊係数が測定された元素は8種類，データ数は321個であった。収集したデータを付録表に示す。

2.2. 再浮遊係数データの傾向分析

収集したデータは，チェルノブイリ事故又は福島第一原子力発電所事故の日を起点として，測定日までの経過日数を算出した。但し，測定日が年表示の場合は当該年の9月30日と仮定し，年月表示の場合は当該月の1日と仮定して算出した。測定日が期間で示されている場合は，測定開始日と測定終了日の中央値を使用した。

OILに基づく被ばく評価では，再浮遊に影響を与えると考えられる5つの要因のうち，粒子，土壌ならびに気象の特性は考慮することが困難であるため，事故発生後の経過時間と人的擾乱や火災の有無でデータを分類した。

図1に元素別に事故発生後の経過時間で整理した結果を示す。この図より，再浮遊係数はばらつきが大きいものの，経過時間と両対数で反比例関係にあることがわかる。ヨウ素の再浮遊係数は30日後で $10^{-5} \sim 10^{-6} (\text{m}^{-1})$ ，セシウムの再浮遊係数は30日後

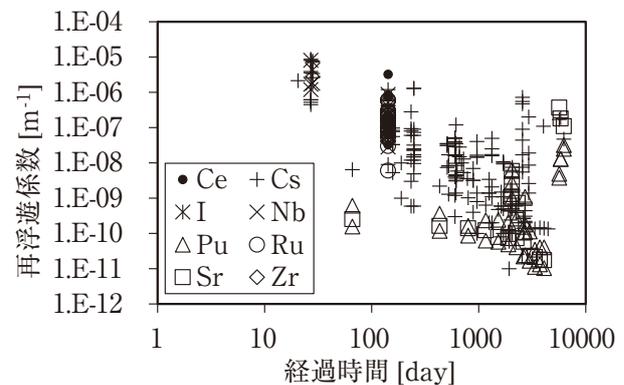


図1 元素別再浮遊係数

で $10^{-5} \sim 10^{-7} (\text{m}^{-1})$, 2700日付近では $10^{-7} \sim 10^{-11} (\text{m}^{-1})$ まで低下していた。セリウム, ニオブ, ルテニウム, ジルコニウムは150日程度で $10^{-5} \sim 10^{-8} (\text{m}^{-1})$ になり, プルトニウム, ストロンチウムは2000日程度で $10^{-8} (\text{m}^{-1})$ 未満となっている。

ばらつきの原因を分析するため, 人的擾乱や火災の有無でデータを分類した結果を図2に示す。この図より, 人的擾乱や火災発生時は, 安定状態と比べて1桁以上, 特に火災時は大きく上昇していた。地震等の自然災害によって火災が発生しているような状況下では再浮遊係数が最も大きく, 避難など人的擾乱がある場合は安定状態に比べて再浮遊係数が大きくなると推察される。

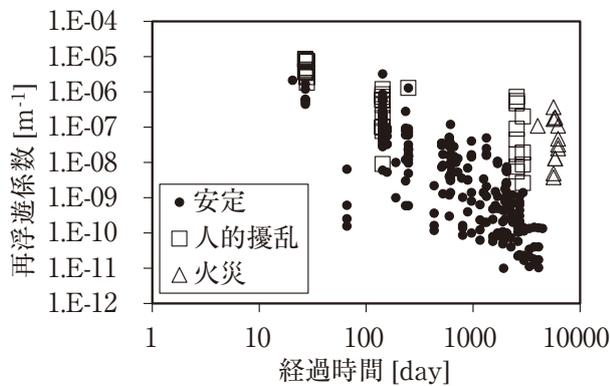


図2 人的擾乱等による再浮遊係数への影響

傾向分析結果から再浮遊係数は対数反比例関係にあることがわかった。そこで全データを用いて, 累乗近似式を作成した。図3に全データと累乗近似の結果を示す。累乗近似式は, 便宜的に1日経過時の再浮遊係数が $10^{-4} (\text{m}^{-1})$ を通過するよう設定した。(2)式に平均近似累乗近似式を, (3)式に上限近似累乗計算式を示す。

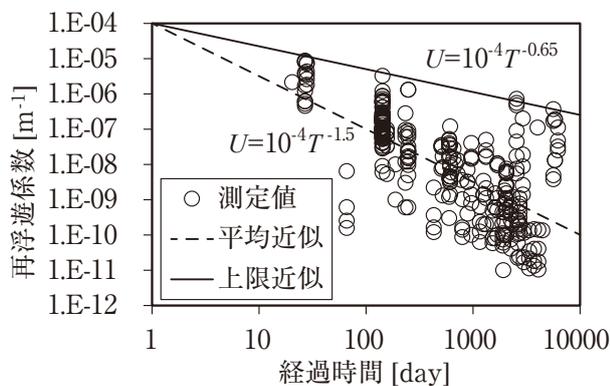


図3 再浮遊係数データの近似式

$$\text{平均近似累乗計算式 } U=10^{-4}T^{-1.5} \quad (2)$$

$$\text{上限近似累乗計算式 } U=10^{-4}T^{-0.65} \quad (3)$$

ここで,

U : 再浮遊係数 (m^{-1})

T : 経過時間 (day)

NUREG-1150およびSOARCAプロジェクトで使用された再浮遊係数計算式を(4)式に示す。MACCS2コードでは, 短期, 中期, 長期に分けて係数が与えられており, 短期は1週間, 中期は1年間, 長期はそれ以降とされている。SOARCAプロジェクトでそれぞれの計算式に与えられる係数を表1に示す。本計算式から得られた再浮遊係数と測定データとの比較結果を図4に示す。この図より, 短期および中期では中央値が, 長期では上限値が保守的な設定となっている。

$$U = \sum_{j=1}^3 K_j e^{-1.163 n(2) t / r_j} \quad (4)$$

ここで,

U : 再浮遊係数 (m^{-1})

K_j : j プロセスの再浮遊係数 (m^{-1})

r_j : j プロセスの再浮遊半減期 (s)

t : 経過時間 (s)

j : 評価時期 (1:短期, 2:中期, 3:長期)

表1 再浮遊係数計算式に与える係数

	下限値	中央値	上限値
K_1	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}
r_1	2.6×10^6	1.6×10^7	3.1×10^7
K_2	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}
r_2	3.1×10^7	1.6×10^8	3.1×10^8
K_3	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}
r_3	3.1×10^8	1.6×10^9	3.1×10^9

今回収集した再浮遊係数データは, 事故発生後短期間のものが少なく, OIL1に基づく被ばく評価では再浮遊係数のフィッティングは外挿となった。そこで, 事故直後の再浮遊係数を $10^{-4} (\text{m}^{-1})$ と仮定して累乗近似を行ったが, 今後, 福島第一原発事故時の環境モニタリングデータの分析等から事故直後の再浮遊係数データが公表されることを期待したい。

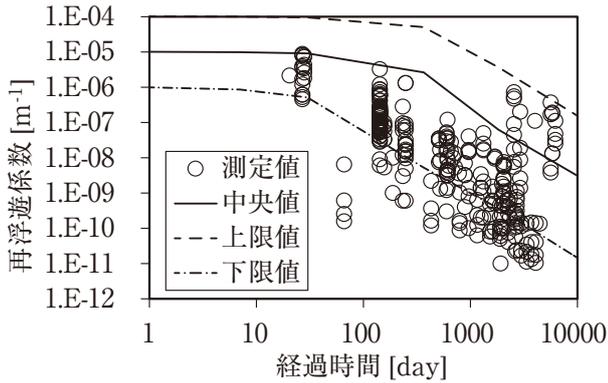


図4 NUREG-1150およびSOARCAプロジェクトで使用された再浮遊係数と測定値の比較

2.3. OIL1, 2用再浮遊係数の評価

再浮遊係数データの傾向分析結果より、元素別の再浮遊係数データの傾向には大きな違いは見られないこと、人的擾乱や火災によって再浮遊係数が上昇することがわかった。OILに用いる再浮遊係数は、当該場所において人が平常の活動を継続することを想定する必要があるため、人的擾乱があることを前提とする必要があり、自然災害起因や自然災害が重複する場合には火災も考慮しておく必要がある。そこで、再浮遊係数は(3)式を用いて、1週間平均の再浮遊係数(OIL1用)を(5)式により、1年間平均の再浮遊係数(OIL2用)を(6)式により求めた。その結果、OIL1用の再浮遊係数は $8.1 \times 10^{-5} \text{ (m}^{-1}\text{)}$ 、OIL2用の再浮遊係数は $6.2 \times 10^{-6} \text{ (m}^{-1}\text{)}$ となった。

$$U_{OIL1} = \frac{10^{-4}}{7} \int_0^7 T^{-0.65} dT = 8.1 \times 10^{-5} \quad (5)$$

$$U_{OIL2} = \frac{10^{-4}}{365} \int_0^{365} T^{-0.65} dT = 6.2 \times 10^{-6} \quad (6)$$

ここで、

U_{OIL1} : OIL1用の再浮遊係数 (m^{-1})

U_{OIL2} : OIL2用の再浮遊係数 (m^{-1})

3. OIL1, 2被ばく線量の試算

上記で算出したOIL1, 2用の再浮遊係数を用いてそれぞれのOIL判断基準の被ばく線量となるヨウ素131とセシウム137の沈着放射能濃度を算出し、初報⁽³⁾の結果と比較した。

3.1. OIL1被ばく線量計算式の概要

OIL1被ばく線量は、初報⁽³⁾に示したようにグラウンドシャイン、再浮遊吸入、不注意な経口摂取による被ばくを考慮して(7)式により算出した。再浮遊吸入は1週間あたりの呼吸量と再浮遊係数を、不注意な経口摂取は1週間あたりの不注意な経口摂取量を考慮した。その際、1週間毎日摂取する際に、土壤に沈着した放射性物質が崩壊によって体内に摂取されるまでに減少する効果および摂取時期が遅くなると1週間の中で被ばくする期間も短くなる効果(すなわち7日目に摂取した放射性物質は実質1日間の被ばくとなる)を摂取量調整係数で考慮した。この点については、OIL判断基準の設定根拠のうち、内部被ばく線量を預託線量とするかどうか議論を注意深く見ていく必要がある。

$$H_{OIL1}^B(j) = \sum_{i=1}^n (H_{OIL1}^{grd}(i) + H_{OIL1}^{inh}(i, j) + H_{OIL1}^{oral}(i, j))$$

$$H_{OIL1}^{grd}(i) = B_{dep}(i) F_{grd}^w(i)$$

$$H_{OIL1}^{inh}(i, j) = B_{dep}(i) F_{inh}^w(i, j) Q^w U$$

$$H_{OIL1}^{oral}(i, j) = B_{dep}(i) F_{oral}^w(i, j) M^w r$$

$$Q^w = q^w W_{adj}^w(i) \quad (7)$$

$$M^w = m^w W_{adj}^w(i)$$

$$W_{adj}^w(i) = \int_0^1 (1-t^w) e^{-\lambda^w(i)t^w} dt^w$$

$$= \frac{1}{\lambda^w(i)^2} (e^{-\lambda^w(i)} - 1) + \frac{1}{\lambda^w(i)}$$

ここで、

$H_{OIL1}^B(j)$: 沈着放射性物質濃度に基づくOIL1被ばく線量 (mSv)

$H_{OIL1}^{grd}(i, j)$: グラウンドシャインによるOIL1被ばく線量 (mSv)

$H_{OIL1}^{inh}(i, j)$: 再浮遊物質吸入によるOIL1被ばく線量 (mSv)

$H_{OIL1}^{oral}(i, j)$: 不注意な経口摂取によるOIL1被ばく線量 (mSv)

$B_{dep}(i)$: 沈着放射性物質濃度 (Bq/cm^2)

$F_{grd}^w(i)$: グラウンドシャイン1週間被ばく線量換算係数 ($(\text{mSv/w}) / (\text{Bq/cm}^2)$)

$F_{inh}^w(i, j)$: 再浮遊物質吸入1週間被ばく線量換算係数 ($(\text{mSv/w}) / (\text{Bq/cm}^3)$)

$F_{oral}^w(i, j)$: 経口摂取1週間被ばく線量換算係数 ($(\text{mSv/w}) / (\text{Bq/g})$)

$V(i)$: グランドシャイン線量率換算係数
((mSv/h) / (Bq/cm²))

Q^w : 補正後の呼吸量 (cm³/w)

q^w : 呼吸量 (cm³/w)

U : 再浮遊係数 (1/cm)

M^w : 補正後の不注意な経口摂取量 (g/w)

m^w : 不注意な経口摂取量 (g/w)

ρ : 単位深さあたりの土壌密度 (g/cm²)

$W_{adj}^w(i)$: 摂取量調整係数 (-)

i : 測定核種

j : 年齢区分

t^w : 時間 (w)

$\lambda^w(i)$: 測定核種の崩壊定数 (1/w)

3.2. OIL1 被ばく線量の試算

初報⁽³⁾と比較するため、OIL1の判断基準である空間線量率500 (μ Sv/h)が観測された時の被ばく線量84 (mSv)から、(7)式によりヨウ素131とセシウム137の沈着放射能濃度を求めた結果を表2および表3に示す。表2より、84 (mSv)となるヨウ素131沈着放射性物質濃度は、幼児が最小となり、再浮遊物質吸入による内部被ばくの影響が37%を占めた。一方、セシウム137については、表3に示すとおり、幼児、小児、成人の沈着放射性物質濃度はほぼ同じで、グランドシャインによる外部被ばくが97%以上を占め、内部被ばくの影響は小さい。

3.3. OIL2 被ばく線量計算式の概要

OIL2被ばく線量は、初報⁽³⁾に示したように(8)式により、グランドシャイン、再浮遊吸入、不注意な経口摂取による被ばくを考慮して算出した。グランドシャインについては屋内外で通常の生活を行っているものと仮定し、屋内生活割合と建屋遮へい係数を、再浮遊吸入は1年間あたりの呼吸量と再浮遊係数を、不注意な経口摂取は1年間あたりの不注意な経口摂取量を考慮した。その際、1年間毎日摂取する際に、土壌に沈着した放射性物質が崩壊によって体内に摂取されるまでに減少する効果および摂取時期が遅くなると1年間の中で被ばくする期間も短くなる効果(すなわち365日目に摂取した放射性物質は実質1日間の被ばくとなる)を摂取量調整係数で考慮した。この点については、OIL判断基準の設定根拠のうち、内部被ばく線量を預託線量とするか

表2 OIL1被ばく線量が84 (mSv)となるヨウ素131沈着放射性物質濃度

OIL1	幼児	小児	成人
沈着放射性物質濃度 (Bq/cm ²)	2.36E+04	2.80E+04	3.19E+04
グランドシャイン (mSv)	51.56 (61.4%)	61.1 (72.7%)	69.78 (83.1%)
再浮遊物質吸入 (mSv)	31.4 (37.4%)	22.59 (26.9%)	14.15 (16.8%)
不注意な経口摂取 (mSv)	1.04 (1.2%)	0.31 (0.4%)	0.07 (0.1%)

表3 OIL1被ばく線量が84 (mSv)となるセシウム131沈着放射性物質濃度

OIL1	幼児	小児	成人
沈着放射性物質濃度 (Bq/cm ²)	2.31E+04	2.32E+04	2.33E+04
グランドシャイン (mSv)	81.59 (97.1%)	81.81 (97.4%)	82.1 (97.7%)
再浮遊物質吸入 (mSv)	2.36 (2.8%)	2.17 (2.6%)	1.9 (2.3%)
不注意な経口摂取 (mSv)	0.05 (0.1%)	0.02 (0.0%)	0 (0.0%)

どうか議論を注意深く見ていく必要がある。

$$H_{OIL2}^B(j) = \sum_{i=1}^n (H_{OIL2}^{grd}(i) + H_{OIL2}^{inh}(i, j) + H_{OIL2}^{oral}(i, j))$$

$$H_{OIL2}^{grd}(i) = B_{dep}(i) F_{grd}^y(i) K_h$$

$$H_{OIL2}^{inh}(i, j) = B_{dep}(i) F_{inh}^y(i, j) Q^y U$$

$$H_{OIL2}^{oral}(i, j) = B_{dep}(i) F_{oral}^y(i, j) M^y \rho$$

$$K_h = (S_f O_f + (1 - O_f)) \quad (8)$$

$$Q^y = q^y W_{adj}^y(i)$$

$$M^y = m^y W_{adj}^y(i)$$

$$W_{adj}^y(i) = \int_0^1 (1 - t^y) e^{-\lambda^y(i)t^y} dt^y$$

$$= \frac{1}{\lambda^y(i)^2} (e^{-\lambda^y(i)} - 1) + \frac{1}{\lambda^y(i)}$$

ここで、

$H_{OIL2}^B(j)$: 沈着放射性物質濃度に基づくOIL2被ばく線量 (mSv)

$H_{OIL2}^{grd}(i)$: グランドシャインによるOIL2被ばく線量 (mSv)

$H_{OIL2}^{inh}(i, j)$: 再浮遊物質吸入によるOIL2被ばく線量 (mSv)

$H_{OIL2}^{oral}(i, j)$: 不注意な経口摂取によるOIL2被ばく線量 (mSv)

- $B_{dep}(i)$: 沈着放射性物質濃度 (Bq/cm²)
- $F_{grd}^y(i)$: グランドシャイン 1 年間被ばく線量換算係数 ((mSv/w) / (Bq/cm²))
- $F_{inh}^y(i,j)$: 再浮遊物質吸入 1 年間被ばく線量換算係数 ((mSv/w) / (Bq/cm³))
- $F_{oral}^y(i,j)$: 経口摂取 1 年間被ばく線量換算係数 ((mSv/w) / (Bq/g))
- Q^y : 補正後の呼吸量 (cm³/y)
- q^y : 呼吸量 (cm³/y)
- U : 再浮遊係数 (1/cm)
- M^y : 補正後の不注意な経口摂取量 (g/y)
- m^y : 不注意な経口摂取量 (g/y)
- ρ : 単位深さあたりの土壤密度 (g/cm²)
- K_h : 被ばく低減係数 (-)
- S_f : 建屋遮へい係数 (-)
- O_f : 屋内生活割合 (-)
- $W_{adj}^y(i)$: 摂取量調整係数 (-)
- i : 測定核種
- j : 年齢区分
- t^y : 時間 (y)
- $\lambda^y(i)$: 測定核種の崩壊定数 (1/y)

3.4. OIL2 被ばく線量の試算

初報⁽³⁾と比較するため、OIL2の判断基準である空間線量率 20 (μSv/h) が観測された時の被ばく線量 105.12 (mSv) から、(8)式によりヨウ素 131 とセシウム 137 の沈着放射能濃度を求めた結果を表 4 および表 5 に示す。表 4 より、105.12 (mSv) となるヨウ素 131 沈着放射性物質濃度は、幼児、小児、成人でほぼ同じで、グランドシャインによる外部被ばくが 98% 以上を占め、内部被ばくの影響は小さい。セシウム 137 についても、表 5 に示すとおり、グランドシャインによる外部被ばくが 96% 以上を占め、内部被ばくの影響は小さい。これは、OIL1 に比べて再浮遊係数が 1 桁以上小さくなったためと考えられる。

4. 考察

本報にて試算した結果と、初報⁽³⁾にて再浮遊係数を 10⁻⁴ (m⁻¹) として試算した結果を比較した。OIL1 被ばく線量の比較結果を図 5 ~ 6 に示す。図 5 より、OIL1 被ばく線量が 84 (mSv) となるヨウ素 131 沈着放射性物質濃度は初報に比べて若干上

表 4 OIL2 被ばく線量が 105.12 (mSv) となるヨウ素 131 沈着放射性物質濃度

OIL2	幼児	小児	成人
沈着放射性物質濃度 (Bq/cm ²)	1446.4	1453.5	1458.8
グランドシャイン (mSv)	103.79 (98.7%)	104.3 (99.2%)	104.68 (99.6%)
再浮遊物質吸入 (mSv)	1.02 (1.0%)	0.73 (0.7%)	0.42 (0.4%)
不注意な経口摂取 (mSv)	0.31 (0.3%)	0.09 (0.1%)	0.02 (0.0%)

表 5 OIL2 被ばく線量が 105.12 (mSv) となるセシウム 131 沈着放射性物質濃度

OIL2	幼児	小児	成人
沈着放射性物質濃度 $B_{dep}(i)$ (Bq/cm ²)	945.2	946.7	949
グランドシャイン (mSv)	101.75 (96.8%)	101.9 (96.9%)	102.15 (97.2%)
再浮遊物質吸入 (mSv)	3.16 (3.0%)	3.04 (2.9%)	2.86 (2.7%)
不注意な経口摂取 (mSv)	0.22 (0.2%)	0.18 (0.2%)	0.11 (0.1%)

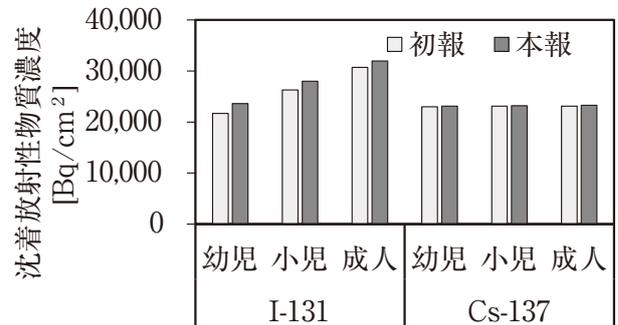


図 5 OIL1 被ばく線量が 84 (mSv) となる沈着放射性物質濃度

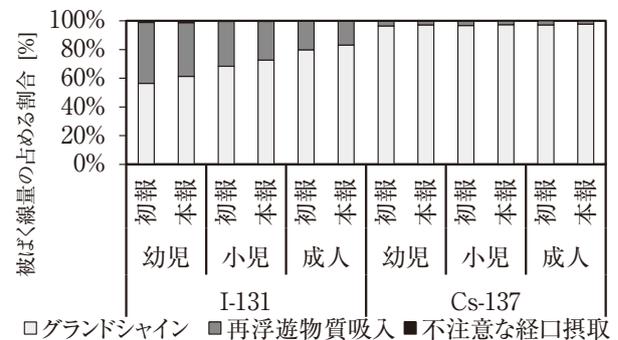


図 6 OIL1 被ばく線量が 84 (mSv) となる場合の被ばく線量の占める割合

昇したが、セシウム 137 の濃度はほぼ同じであった。図 6 より OIL1 被ばく線量の内訳を見ると、ヨウ素 131 は初報に比べてグランドシャインの割合が

増加し、再浮遊物質吸入の割合が減少した。これは、OIL1が対象とする1週間被ばくでは、ヨウ素131の内部被ばくによる影響が大きく、再浮遊係数が若干低下したことによるものである。

OIL2被ばく線量の比較結果を図7～8に示す。図7より、OIL2被ばく線量が105.12 (mSv)となる沈着放射性物質濃度は、ヨウ素131およびセシウム137ともに初報に比べて上昇した。図7よりOIL2被ばく線量の内訳を見ると、ヨウ素131およびセシウム137ともに初報に比べてグランドシャインの割合が増加し、再浮遊物質吸入の割合が大きく減少した。これは、再浮遊係数の違いによるものである。

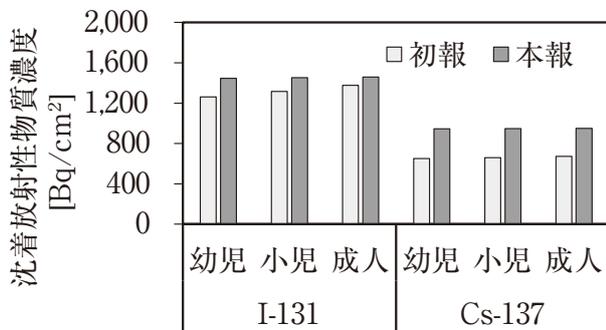


図7 OIL2被ばく線量が105.12 (mSv)となる沈着放射性物質濃度

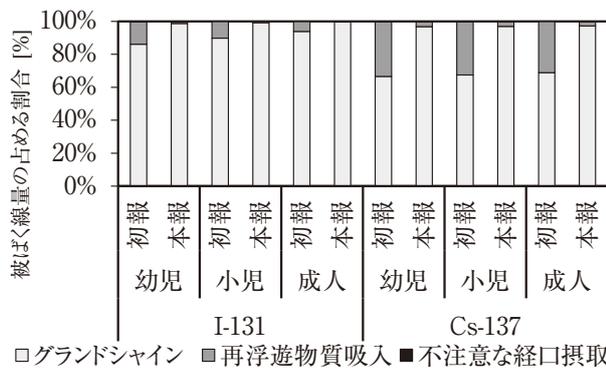


図8 OIL2被ばく線量が105.12 (mSv)となる場合の被ばく線量の占める割合

5. 結 言

本報告では、チェルノブイリ事故ならびに福島第一原子力発電所事故時の再浮遊係数実測データに着目して、情報を収集するとともに、事故発生からの経過時間や他の要因による再浮遊係数への影響を調べ、OIL1およびOIL2に基づく被ばく線量評価に用いる再浮遊係数を評価し、試算を実施した。

その結果、以下の知見が得られた。

- ① 再浮遊係数は、事故からの経過時間と対数反比例関係にあり、累乗近似できる。
- ② 再浮遊係数は、人的擾乱や火災により安定状態と比べて1桁以上、特に火災時は大きく上昇する。
- ③ OILに用いる再浮遊係数は、当該場所において人が通常の活動を継続すること、ならびに自然災害起因や自然災害と重複する場合は火災も考慮しておく必要があることから、上限累乗近似式を用いることが望ましい。
- ④ OILに用いる再浮遊係数は、OIL1用では $8.1 \times 10^{-5} (m^{-1})$ 、OIL2用では $6.2 \times 10^{-6} (m^{-1})$ となった。
- ⑤ 本報の再浮遊係数を用いてOIL被ばく線量を試算した結果、ヨウ素131によるOIL1 (1週間)被ばくにおいて再浮遊物質吸入の影響が16～37%程度みられるが、セシウム137によるOIL1被ばくとOIL2 (1年間)被ばくでは、再浮遊物質吸入による影響は僅かであった。
- ⑥ 初報の試算と比較した結果、特にOIL2被ばく線量の再浮遊物質吸入による寄与割合が大きく低下した。

本研究において以下の課題が見出された。

- ① 今回収集した再浮遊係数データは、事故発生後短期間のものが少なく、OIL1に基づく被ばく評価では再浮遊係数のフィッティングは外挿となった。今後、福島第一原発事故時の環境モニタリングデータの分析等から事故直後の再浮遊係数データが公表されることを期待したい。
- ② OIL判断基準の設定根拠のうち、内部被ばく線量はIAEA⁽²²⁾より預託線量とすることが明示されたので、線量換算係数データ等を見直していく必要がある。

今後も引き続き抽出された課題に対する検討を継続するとともに、具体的な活用方策に関する研究を推進していきたいと考える。

謝 辞

本研究にあたり、日本エヌ・ユー・エス(株)森山実氏、深谷友紀子氏には文献調査に協力いただいた。ここに厚く感謝します。

文 献

- (1) 原子力規制庁, 原子力災害対策指針, 原子力規制委員会ホームページ, <https://www.nsr.go.jp/data/000024441.pdf>, (2015).
- (2) IAEA, Criteria for Use in Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA GSG-2, (2011).
- (3) 吉田至孝, 岩崎良人他, “運用上の介入レベルに基づく被ばく線量計算手法の検討－計算式および線量換算係数等の整備－”, INSS JOURNAL, Vol.23, NT-9, pp.101-129, (2016).
- (4) 吉田至孝, 高橋俊佑, “運用上の介入レベルに基づく被ばく線量計算手法の検討－OIL6用飲食物摂取量の評価－”, INSS JOURNAL, Vol.24, NT-10, pp.150-166, (2017).
- (5) 木村仁宣, 木名瀬栄他, “福島第一原子力発電所事故の防護措置と線量再構築 (2) 吸入摂取による公衆の内部被ばく線量評価, 日本原子力学会2011秋の大会, K37, (2011).
- (6) J. L. Sprung, J. A. Rollstin, et. al., Evaluation of Severe Accident Risks: Quantification of Major Input Parameters MACCS Input, NUREG/CR-4551 vol.2 rev.1 part 7, US NRC, (1990).
- (7) Nathan Bixler, Joseph Jones, Doug Osborn, and Scott Weber, MACCS Best Practice as Applied in the State-of-the-Art Reactor Consequence Analyses (SOARCA) Project, NUREG/CR-7009, US NRC, (2014).
- (8) E.K. Garger, L.R. Anspaugh, et. al., “A Test of Resuspension Factor Models against Chernobyl Data Environmental Impact of Radioactive Releases,” Proc. of an Int. Symp. Environ. Impact of Radioactive Releases (IAEA) , 8-12 May 1995, UCRL-JC-123712, (1995).
- (9) F. Wagenpfeil, H.G. Paretzke, et. al., “Resuspension of coarse particles in the region of Chernobyl,” Atmospheric Environment, 33 [20] , pp.3313-3323, (1999).
- (10) E. K. Garger, “Air concentrations of radionuclides in the vicinity of Chernobyl and the effects of resuspension,” J. Aerosol Sci., 75, pp.745-753, (1994).
- (11) J.A Garland, I.R Pomeroy, “Resuspension of fallout material following the Chernobyl Accident,” J. Aerosol Sci., 25, pp.793-806, (1994).
- (12) E. Garner, S. Gordeev, et. al., “Resuspension and Deposition of Radionuclides Under Various Conditions,” Proc. 1st Int. Conf. 'The radiological consequences of the Chernobyl accident', 18-22 Mar, (1996).
- (13) K W Nicholson, “The deposition, resuspension and weathering of Chernobyl derived material in the UK,” J. Radiol. Prot., 9, pp.113-119, (1989).
- (14) V. A. Kashparov, S. M. Lundin, et. al., “Forest fires in the territory contaminated as a result of the Chernobyl accident: radioactive aerosol resuspension and exposure of fire-fighters,” J. Environ. Radioactivity, 51, pp.281-298, (2000).
- (15) V.I. Yoschenko, V.A. Kashparov, et. al., Resuspension and redistribution of radionuclides during grassland and forest fires in the Chernobyl exclusion zone Part I. Fire experiments,” J. Environ. Radioactivity, 86, pp.143-163, (2006).
- (16) Werner Holländer, “Resuspension factors of Cs-137 in Hannover after the Chernobyl accident,” J. Aerosol Sci., 25 [5] , pp.789-792, (1994).
- (17) G. Rosner, R. Winkler, “Long-term variation (1986-1998) of post-Chernobyl Sr-90, Cs-137, Pu-238 and Pu-239, Pu-240 concentrations in air, depositions to ground, resuspension factors and resuspension rates in south Germany,” Sci. of The Total Environment, 273 [1-3] , pp.11-25, (2001).
- (18) 山口紀子, 江口定夫, 他, “農業環境技術研究所畑圃場における農作業に伴い巻き上がる土壌粒子に含まれる放射性物質,” 農環研報34,

- pp.33-41, (2015).
- (19) 赤田尚史, 柿内秀樹, 他, “福島県郡山市における放射性セシウムの粒径別大気中濃度と再浮遊率,” 原子力学会秋の大会予稿集, O2, (2012).
 - (20) Centers for Disease Control and Prevention, “Scenario R: Atmospheric Resuspension of Radionuclides,” <https://www.cdc.gov/nceh/radiation/brochure/pdf/Resuspension.pdf>, (2017).
 - (21) 飽本一裕, “福島第一原発事故が及ぼしたセシウム起源空間放射線量率の福島県における経時変化と場所依存性,” RADIOISOTOPES, 61, pp.373-378, (2012).
 - (22) IAEA, Operational Intervention Levels for Reactor Emergencies, IAEA EPR-NPP-OILs 2017, (2017).

付録表 対象13文献から抽出した再浮遊係数データ一覧

文献番号	再浮遊係数 [m ⁻¹]	元素	放出開始	測定期間	測定場所	備考
8	3.3E-08	Cs	1986/4/26	1986	ウクライナ Chernobyl	
8	8.2E-09	Cs	1986/4/26	1987	ウクライナ Chernobyl	
8	3.2E-09	Cs	1986/4/26	1988	ウクライナ Chernobyl	
8	1.4E-09	Cs	1986/4/26	1989	ウクライナ Chernobyl	
8	6.0E-10	Cs	1986/4/26	1990	ウクライナ Chernobyl	
8	8.0E-10	Cs	1986/4/26	1991	ウクライナ Chernobyl	
8	2.4E-10	Cs	1986/4/26	1991/9/25	ウクライナ Chernobyl	
8	4.3E-10	Cs	1986/4/26	1991/9/25	ウクライナ Chernobyl	
8	1.9E-07	Ce	1986/4/26	1986/9/14～17	ウクライナ Chernobyl	
8	1.7E-07	Cs	1986/4/26	1986/9/14～17	ウクライナ Chernobyl	
8	2.3E-07	Ru	1986/4/26	1986/9/14～17	ウクライナ Chernobyl	
8	2.0E-07	Zr	1986/4/26	1986/9/14～17	ウクライナ Chernobyl	
9	1.0E-11	Cs	1986/4/26	1991/8	ウクライナ Pripyat-Beach	
9	6.0E-11	Cs	1986/4/26	1991/8	ウクライナ Pripyat-Beach	
9	1.0E-10	Cs	1986/4/26	1991/8	ウクライナ Pripyat-Beach	
9	5.5E-09	Cs	1986/4/26	1993/5	ウクライナ Zapolie	人的擾乱
9	1.7E-08	Cs	1986/4/26	1993/5	ウクライナ Zapolie	人的擾乱
9	4.7E-07	Cs	1986/4/26	1993/5	ウクライナ Zapolie	人的擾乱
9	7.5E-09	Cs	1986/4/26	1993/5	ウクライナ Zapolie	人的擾乱
9	4.4E-08	Cs	1986/4/26	1993/5	ウクライナ Zapolie	人的擾乱
9	9.0E-08	Cs	1986/4/26	1993/5	ウクライナ Zapolie	人的擾乱
9	5.5E-07	Cs	1986/4/26	1993/5	ウクライナ Zapolie	人的擾乱
9	7.2E-07	Cs	1986/4/26	1993/5	ウクライナ Zapolie	人的擾乱
9	1.1E-10	Cs	1986/4/26	1993/7	ウクライナ Kopachi	
9	1.4E-10	Cs	1986/4/26	1993/7	ウクライナ Kopachi	
9	2.7E-10	Cs	1986/4/26	1993/7	ウクライナ Kopachi	
9	1.4E-09	Cs	1986/4/26	1994/5	ロシア Novozybkov	
9	2.6E-09	Cs	1986/4/26	1994/5	ロシア Novozybkov	人的擾乱
9	8.7E-09	Cs	1986/4/26	1994/5	ロシア Novozybkov	人的擾乱
9	1.9E-08	Cs	1986/4/26	1994/5	ロシア Novozybkov	人的擾乱
9	2.0E-07	Cs	1986/4/26	1994/5	ロシア Novozybkov	人的擾乱
9	4.0E-10	Cs	1986/4/26	1991/7～1993/5	ウクライナ Zapolie	
9	6.0E-10	Cs	1986/4/26	1991/7～1993/5	ウクライナ Zapolie	
9	6.3E-10	Cs	1986/4/26	1991/7～1993/5	ウクライナ Zapolie	
10	1.5E-07	Ce	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Chernobyl	
10	1.8E-07	Ce	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Chernobyl	
10	1.5E-07	Cs	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Chernobyl	
10	2.0E-07	Cs	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Chernobyl	
10	2.3E-07	Nb	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Chernobyl	
10	1.0E-07	Ru	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Chernobyl	
10	1.9E-07	Ru	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Chernobyl	
10	1.7E-07	Zr	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Chernobyl	
10	7.2E-07	Ce	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Kopachi	人的擾乱
10	8.5E-07	Ce	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Kopachi	人的擾乱
10	5.8E-07	Cs	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Kopachi	人的擾乱
10	5.9E-07	Cs	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Kopachi	人的擾乱

付録表 対象13文献から抽出した再浮遊係数データ一覧

文献番号	再浮遊係数 [m ⁻¹]	元素	放出開始	測定期間	測定場所	備考
10	8.8E-07	Nb	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Kopachi	
10	5.9E-07	Ru	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Kopachi	
10	6.0E-07	Ru	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Kopachi	
10	6.4E-07	Zr	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Kopachi	
10	1.0E-07	Ce	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Korogod	
10	2.3E-07	Ce	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Korogod	
10	4.2E-08	Cs	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Korogod	
10	1.1E-07	Cs	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Korogod	
10	9.9E-08	Nb	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Korogod	
10	1.0E-07	Ru	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Korogod	
10	2.8E-07	Ru	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Korogod	
10	1.1E-07	Zr	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Korogod	
10	1.6E-07	Ce	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Lelev	
10	3.2E-06	Ce	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Lelev	
10	5.2E-08	Cs	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Lelev	
10	4.2E-07	Cs	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Lelev	
10	1.8E-07	Nb	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Lelev	
10	1.5E-07	Ru	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Lelev	
10	2.6E-07	Ru	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Lelev	
10	9.0E-08	Zr	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Lelev	
10	7.0E-08	Ce	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Opachichi	
10	9.0E-08	Ce	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Opachichi	
10	1.3E-07	Cs	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Opachichi	
10	2.1E-07	Cs	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Opachichi	
10	6.7E-08	Nb	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Opachichi	
10	5.6E-08	Ru	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Opachichi	
10	2.1E-07	Ru	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Opachichi	
10	4.0E-08	Zr	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Opachichi	
10	9.7E-08	Ce	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Pripyat	人的擾乱
10	1.0E-07	Ce	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Pripyat	人的擾乱
10	9.0E-09	Cs	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Pripyat	人的擾乱
10	7.7E-08	Cs	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Pripyat	人的擾乱
10	8.5E-08	Nb	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Pripyat	
10	7.6E-08	Ru	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Pripyat	
10	1.1E-07	Ru	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Pripyat	
10	8.7E-08	Zr	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Pripyat	
10	3.3E-08	Ce	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Yampol	
10	7.5E-08	Ce	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Yampol	
10	5.9E-08	Cs	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Yampol	
10	1.6E-07	Cs	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Yampol	
10	2.8E-08	Nb	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Yampol	
10	5.5E-08	Ru	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Yampol	
10	2.6E-07	Ru	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Yampol	
10	4.1E-08	Zr	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Yampol	
10	1.0E-07	Ce	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Zalecie	
10	1.1E-07	Ce	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Zalecie	

付録表 対象13文献から抽出した再浮遊係数データ一覧

文献番号	再浮遊係数 [m ⁻¹]	元素	放出開始	測定期間	測定場所	備考
10	6.8E-08	Cs	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Zalecie	
10	1.7E-07	Cs	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Zalecie	
10	9.2E-08	Nb	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Zalecie	
10	1.0E-07	Ru	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Zalecie	
10	2.1E-07	Ru	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Zalecie	
10	5.5E-07	Zr	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Zalecie	
10	9.0E-08	Ce	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Zapolie	
10	1.1E-07	Ce	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Zapolie	
10	5.3E-08	Cs	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Zapolie	
10	1.0E-07	Cs	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Zapolie	
10	6.5E-08	Nb	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Zapolie	
10	6.0E-09	Ru	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Zapolie	
10	3.0E-08	Ru	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Zapolie	
10	6.0E-08	Zr	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Zapolie	
10	1.0E-07	Ce	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Zimovitshe	人的擾乱
10	1.8E-07	Ce	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Zimovitshe	人的擾乱
10	4.2E-07	Cs	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Zimovitshe	人的擾乱
10	1.2E-06	Cs	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Zimovitshe	人的擾乱
10	2.2E-07	Ru	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Zimovitshe	
10	3.0E-07	Ru	1986/4/26	1986/9/14～17*	ウクライナ Zimovitshe	
11	3.0E-09	Cs	1986/4/26	1986/7～1987/6	イギリス Conlig	
11	1.5E-08	Cs	1986/4/26	1986/7～1987/6	イギリス Eskmeals	
11	1.3E-06	Cs	1986/4/26	1986/7～1987/6	イギリス Harwell CM	人的擾乱
11	7.3E-08	Cs	1986/4/26	1986/7～1987/6	イギリス Harwell FC	
11	6.0E-10	Cs	1986/4/26	1986/7～1987/6	イギリス Lerwick	
11	2.3E-08	Cs	1986/4/26	1986/7～1987/6	デンマーク Bornholm	
11	2.3E-08	Cs	1986/4/26	1986/7～1987/6	デンマーク Riso	
11	2.5E-08	Cs	1986/4/26	1986/7～1987/6	ドイツ Berlin	
11	1.7E-08	Cs	1986/4/26	1986/7～1987/6	ドイツ Braunschweig	
11	4.9E-09	Cs	1986/4/26	1986/7～1987/6	ドイツ Neuherberg	
11	3.2E-08	Cs	1986/4/26	1986/7～1987/6	ノルウェー Skibotn	
11	1.5E-08	Cs	1986/4/26	1986/7～1987/6	ノルウェー Tromso	
11	9.6E-09	Cs	1986/4/26	1986/7～1987/6	フィンランド Nurmijärvi	
11	1.2E-08	Cs	1986/4/26	1986/7～1987/6	ポーランド Warsaw	
11	6.0E-08	Cs	1986/4/26	1986/7～1987/6	イギリス Chilton	
11	2.8E-07	Cs	1986/4/26	1986/7～1987/6	イギリス Compton	
11	1.2E-08	Cs	1986/4/26	1986/7～1987/6	イギリス Eskdalemuir	
11	8.0E-08	Cs	1986/4/26	1986/7～1987/6	イギリス Haven	
11	9.4E-08	Cs	1986/4/26	1986/7～1987/6	イギリス Orfordness	
11	3.1E-08	Cs	1986/4/26	1986/7～1988/12	デンマーク Bornholm	
11	3.1E-08	Cs	1986/4/26	1986/7～1988/12	デンマーク Riso	
11	3.5E-08	Cs	1986/4/26	1986/7～1988/12	ドイツ Berlin	
11	7.4E-09	Cs	1986/4/26	1986/7～1988/12	ドイツ Neuherberg	
11	3.5E-08	Cs	1986/4/26	1986/7～1988/12	ノルウェー Skibotn	
11	5.9E-09	Cs	1986/4/26	1986/7～1988/8	イタリア Ispra	
11	2.8E-08	Cs	1986/4/26	1986/7～1989/10	ドイツ Braunschweig	

付録表 対象13文献から抽出した再浮遊係数データ一覧

文献番号	再浮遊係数 [m ⁻¹]	元素	放出開始	測定期間	測定場所	備考
11	1.5E-08	Cs	1986/4/26	1986/7～1989/10	ポーランド Warsaw	
11	1.0E-08	Cs	1986/4/26	1986/7～1989/12	フィンランド Nurmijärvi	
11	4.9E-08	Cs	1986/4/26	1986/7～1989/6	イギリス Chilton	
11	1.6E-08	Cs	1986/4/26	1986/7～1989/6	イギリス Eskmeals	
11	3.6E-09	Cs	1986/4/26	1987/1～1989/12	オーストリア Klagenfurt	
11	5.3E-09	Cs	1986/4/26	1987/1～1989/8	オーストリア Bregenz	
11	1.3E-08	Cs	1986/4/26	1987/1～1989/8	オーストリア Vienna	
11	4.5E-09	Cs	1986/4/26	1987/7～1988/6	イタリア Ispra	
11	1.2E-09	Cs	1986/4/26	1987/7～1988/6	イギリス Conlig	
11	3.1E-09	Cs	1986/4/26	1987/7～1988/6	イギリス Eskmeals	
11	1.2E-07	Cs	1986/4/26	1987/7～1988/6	イギリス Harwell CM	
11	3.5E-08	Cs	1986/4/26	1987/7～1988/6	イギリス Harwell FC	
11	3.0E-10	Cs	1986/4/26	1987/7～1988/6	イギリス Lerwick	
11	4.5E-09	Cs	1986/4/26	1987/7～1988/6	デンマーク Bornholm	
11	4.5E-09	Cs	1986/4/26	1987/7～1988/6	デンマーク Riso	
11	8.5E-09	Cs	1986/4/26	1987/7～1988/6	ドイツ Berlin	
11	3.7E-09	Cs	1986/4/26	1987/7～1988/6	ドイツ Braunschweig	
11	1.4E-09	Cs	1986/4/26	1987/7～1988/6	ドイツ Neuherberg	
11	1.7E-08	Cs	1986/4/26	1987/7～1988/6	ノルウェー Skibotn	
11	9.7E-09	Cs	1986/4/26	1987/7～1988/6	ノルウェー Tromso	
11	3.2E-09	Cs	1986/4/26	1987/7～1988/6	フィンランド Nurmijärvi	
11	4.5E-09	Cs	1986/4/26	1987/7～1988/6	ポーランド Warsaw	
11	5.2E-08	Cs	1986/4/26	1987/7～1988/6	イギリス Chilton	
11	2.9E-08	Cs	1986/4/26	1987/7～1988/6	イギリス Compton	
11	4.0E-09	Cs	1986/4/26	1987/7～1988/6	イギリス Eskdalemuir	
11	4.0E-08	Cs	1986/4/26	1987/7～1988/6	イギリス Haven	
11	3.6E-08	Cs	1986/4/26	1987/7～1988/6	イギリス Orfordness	
11	8.0E-10	Cs	1986/4/26	1988/7～1989/6	イギリス Conlig	
11	1.0E-10	Cs	1986/4/26	1988/7～1989/6	イギリス Lerwick	
11	1.65E-08	Cs	1986/4/26	1988/7～1989/6	イギリス Chilton	
11	1.51E-08	Cs	1986/4/26	1988/7～1989/6	イギリス Compton	
11	1.4E-09	Cs	1986/4/26	1988/7～1989/6	イギリス Eskdalemuir	
11	4.05E-08	Cs	1986/4/26	1988/7～1989/6	イギリス Haven	
11	1.4E-08	Cs	1986/4/26	1988/7～1989/6	イギリス Orfordness	
11	1.1E-09	Cs	1986/4/26	1989/7～1990/6	イギリス Conlig	
11	2.0E-10	Cs	1986/4/26	1989/7～1990/6	イギリス Lerwick	
11	2.5E-08	Cs	1986/4/26	1989/7～1990/6	イギリス Chilton	
11	1.73E-08	Cs	1986/4/26	1989/7～1990/6	イギリス Compton	
11	2.1E-09	Cs	1986/4/26	1989/7～1990/6	イギリス Eskdalemuir	
11	4.94E-08	Cs	1986/4/26	1989/7～1990/6	イギリス Haven	
11	1.6E-08	Cs	1986/4/26	1989/7～1990/6	イギリス Orfordness	
11	5.0E-10	Cs	1986/4/26	1990/7～1991/6	イギリス Conlig	
11	1.0E-10	Cs	1986/4/26	1990/7～1991/6	イギリス Lerwick	
11	1.08E-08	Cs	1986/4/26	1990/7～1991/6	イギリス Chilton	
11	1.0E-08	Cs	1986/4/26	1990/7～1991/6	イギリス Compton	
11	1.1E-09	Cs	1986/4/26	1990/7～1991/6	イギリス Eskdalemuir	

付録表 対象13文献から抽出した再浮遊係数データ一覧

文献番号	再浮遊係数 [m ⁻¹]	元素	放出開始	測定期間	測定場所	備考
11	9.4E-09	Cs	1986/4/26	1990/7～1991/6	イギリス Orfordness	
11	5.0E-10	Cs	1986/4/26	1991/7～1992/6	イギリス Conlig	
11	1.0E-10	Cs	1986/4/26	1991/7～1992/6	イギリス Lerwick	
11	7.5E-09	Cs	1986/4/26	1991/7～1992/6	イギリス Chilton	
11	6.1E-09	Cs	1986/4/26	1991/7～1992/6	イギリス Compton	
11	1.0E-09	Cs	1986/4/26	1991/7～1992/6	イギリス Eskdalemuir	
11	5.5E-09	Cs	1986/4/26	1991/7～1992/6	イギリス Orfordness	
12	4.4E-10	Cs	1986/4/26	1993	ウクライナ Zapolye	
12	1.8E-10	Pu	1986/4/26	1993	ウクライナ Zapolye	
12	2.2E-10	Cs	1986/4/26	1992～1994	ウクライナ Beach-Pripyat	
12	1.1E-10	Pu	1986/4/26	1992～1994	ウクライナ Beach-Pripyat	
12	2.0E-10	Cs	1986/4/26	1992～1994	ウクライナ Kopachi	
12	2.4E-11	Pu	1986/4/26	1992～1994	ウクライナ Kopachi	
12	6.3E-10	Cs	1986/4/26	1992～1994	ウクライナ Kovali	
12	1.1E-09	Pu	1986/4/26	1992～1994	ウクライナ Kovali	
12	3.1E-10	Cs	1986/4/26	1992～1994	ウクライナ Mikulich	
12	7.7E-10	Cs	1986/4/26	1992～1994	ロシア Novozybkov	
13	9.0E-08	Cs	1986/4/26	1986/7～1987/6	イギリス Orfordness	
13	1.5E-08	Cs	1986/4/26	1986/7～1987/6	イギリス Tromso	
13	6.0E-10	Cs	1986/4/26	1986/7～1987/6	イギリス Lerwick	
13	6.0E-08	Cs	1986/4/26	1986/7～1987/6	イギリス Chilton	
13	1.3E-06	Cs	1986/4/26	1986/7～1987/6	イギリス Harwell carpark	
14	1.1E-07	Cs	1986/4/26	1997/5	ウクライナ Kiev	火災
15	1.7E-07	Cs	1986/4/26	2001/10/10	ウクライナ Chernobyl	火災
15	3.8E-09	Pu	1986/4/26	2001/10/10	ウクライナ Chernobyl	火災
15	4.9E-09	Pu	1986/4/26	2001/10/10	ウクライナ Chernobyl	火災
15	3.7E-07	Sr	1986/4/26	2001/10/10	ウクライナ Chernobyl	火災
15	1.9E-07	Cs	1986/4/26	2002/4/18	ウクライナ Chernobyl	火災
15	1.3E-08	Pu	1986/4/26	2002/4/18	ウクライナ Chernobyl	火災
15	1.3E-08	Pu	1986/4/26	2002/4/18	ウクライナ Chernobyl	火災
15	1.8E-07	Sr	1986/4/26	2002/4/18	ウクライナ Chernobyl	火災
15	4.7E-08	Cs	1986/4/26	2003/5/15	ウクライナ Chernobyl	火災
15	2.5E-08	Pu	1986/4/26	2003/5/15	ウクライナ Chernobyl	火災
15	3.2E-08	Pu	1986/4/26	2003/5/15	ウクライナ Chernobyl	火災
15	1.1E-07	Sr	1986/4/26	2003/5/15	ウクライナ Chernobyl	火災
16	2.14E-06	Cs	1986/4/26	1986/5/1～6/1	ドイツ Hannover	
17	6.4E-09	Cs	1986/4/26	1986	ドイツ Nürnberg	
17	2.2E-09	Cs	1986/4/26	1987	ドイツ Nürnberg	
17	1.0E-09	Cs	1986/4/26	1988	ドイツ Nürnberg	
17	6.4E-10	Cs	1986/4/26	1989	ドイツ Nürnberg	
17	4.8E-10	Cs	1986/4/26	1990	ドイツ Nürnberg	
17	4.4E-10	Cs	1986/4/26	1991	ドイツ Nürnberg	
17	3.9E-10	Cs	1986/4/26	1992	ドイツ Nürnberg	
17	2.6E-10	Cs	1986/4/26	1993	ドイツ Nürnberg	
17	1.4E-10	Cs	1986/4/26	1994	ドイツ Nürnberg	
17	1.3E-10	Cs	1986/4/26	1995	ドイツ Nürnberg	

付録表 対象13文献から抽出した再浮遊係数データ一覧

文献番号	再浮遊係数 [m ⁻¹]	元素	放出開始	測定期間	測定場所	備考
17	1.5E-10	Cs	1986/4/26	1996	ドイツ Nürnberg	
17	1.4E-10	Cs	1986/4/26	1997	ドイツ Nürnberg	
17	1.3E-10	Cs	1986/4/26	1998	ドイツ Nürnberg	
17	6.1E-10	Pu	1986/4/26	1986	ドイツ Nürnberg	
17	3.6E-10	Pu	1986/4/26	1987	ドイツ Nürnberg	
17	1.6E-10	Pu	1986/4/26	1988	ドイツ Nürnberg	
17	2.3E-10	Pu	1986/4/26	1989	ドイツ Nürnberg	
17	2.4E-10	Pu	1986/4/26	1990	ドイツ Nürnberg	
17	2.1E-10	Pu	1986/4/26	1991	ドイツ Nürnberg	
17	2.6E-10	Pu	1986/4/26	1992	ドイツ Nürnberg	
17	1.1E-10	Pu	1986/4/26	1993	ドイツ Nürnberg	
17	1.1E-10	Pu	1986/4/26	1994	ドイツ Nürnberg	
17	3.4E-11	Pu	1986/4/26	1995	ドイツ Nürnberg	
17	4.0E-11	Pu	1986/4/26	1996	ドイツ Nürnberg	
17	4.0E-11	Pu	1986/4/26	1997	ドイツ Nürnberg	
17	1.6E-10	Pu	1986/4/26	1986	ドイツ Nürnberg	
17	1.2E-10	Pu	1986/4/26	1987	ドイツ Nürnberg	
17	8.6E-11	Pu	1986/4/26	1988	ドイツ Nürnberg	
17	6.3E-11	Pu	1986/4/26	1989	ドイツ Nürnberg	
17	5.8E-11	Pu	1986/4/26	1990	ドイツ Nürnberg	
17	4.9E-11	Pu	1986/4/26	1991	ドイツ Nürnberg	
17	4.0E-11	Pu	1986/4/26	1992	ドイツ Nürnberg	
17	2.2E-11	Pu	1986/4/26	1993	ドイツ Nürnberg	
17	1.7E-11	Pu	1986/4/26	1994	ドイツ Nürnberg	
17	1.1E-11	Pu	1986/4/26	1995	ドイツ Nürnberg	
17	1.3E-11	Pu	1986/4/26	1996	ドイツ Nürnberg	
17	1.0E-11	Pu	1986/4/26	1997	ドイツ Nürnberg	
17	2.5E-10	Sr	1986/4/26	1986	ドイツ Nürnberg	
17	1.6E-10	Sr	1986/4/26	1987	ドイツ Nürnberg	
17	1.4E-10	Sr	1986/4/26	1988	ドイツ Nürnberg	
17	1.2E-10	Sr	1986/4/26	1989	ドイツ Nürnberg	
17	8.0E-11	Sr	1986/4/26	1990	ドイツ Nürnberg	
17	7.4E-11	Sr	1986/4/26	1991	ドイツ Nürnberg	
17	7.4E-11	Sr	1986/4/26	1992	ドイツ Nürnberg	
17	5.8E-11	Sr	1986/4/26	1993	ドイツ Nürnberg	
17	2.3E-11	Sr	1986/4/26	1994	ドイツ Nürnberg	
17	2.1E-11	Sr	1986/4/26	1995	ドイツ Nürnberg	
17	1.8E-11	Sr	1986/4/26	1996	ドイツ Nürnberg	
17	1.7E-11	Sr	1986/4/26	1997	ドイツ Nürnberg	
18	4.5E-07	Cs	2011/3/11	2011/4/7	茨城県つくば市	
18	5.2E-07	Cs	2011/3/11	2011/4/7	茨城県つくば市	
18	6.1E-07	Cs	2011/3/11	2011/4/7	茨城県つくば市	
18	6.2E-07	Cs	2011/3/11	2011/4/7	茨城県つくば市	
18	3.6E-06	Cs	2011/3/11	2011/4/7	茨城県つくば市	人的擾乱
18	3.9E-06	Cs	2011/3/11	2011/4/7	茨城県つくば市	人的擾乱
18	8.1E-06	Cs	2011/3/11	2011/4/7	茨城県つくば市	人的擾乱

付録表 対象13文献から抽出した再浮遊係数データ一覧

文献番号	再浮遊係数 [m ⁻¹]	元素	放出開始	測定期間	測定場所	備考
18	8.7E-06	Cs	2011/3/11	2011/4/7	茨城県つくば市	人的擾乱
18	1.2E-06	I	2011/3/11	2011/4/7	茨城県つくば市	
18	1.7E-06	I	2011/3/11	2011/4/7	茨城県つくば市	
18	8.1E-06	I	2011/3/11	2011/4/7	茨城県つくば市	人的擾乱
18	2.6E-06	Cs	2011/3/11	2011/4/8	茨城県つくば市	人的擾乱
18	3.4E-06	Cs	2011/3/11	2011/4/8	茨城県つくば市	人的擾乱
18	7.1E-06	Cs	2011/3/11	2011/4/8	茨城県つくば市	人的擾乱
18	7.7E-06	Cs	2011/3/11	2011/4/8	茨城県つくば市	人的擾乱
18	1.8E-06	I	2011/3/11	2011/4/8	茨城県つくば市	人的擾乱
18	4.3E-06	I	2011/3/11	2011/4/8	茨城県つくば市	人的擾乱
19	1.0E-09	Cs	2011/3/11	2011/8~11	福島県郡山市	
19	1.0E-08	Cs	2011/3/11	2011/8~11	福島県郡山市	
20	5.6E-08	Cs	1986/4/26	1986	ウクライナ Zapolie	
20	7.7E-08	Cs	1986/4/26	1986	ウクライナ Zapolie	
20	9.8E-08	Cs	1986/4/26	1986	ウクライナ Zapolie	
20	5.3E-09	Cs	1986/4/26	1986	ウクライナ Chernobyl	
20	3.3E-08	Cs	1986/4/26	1986	ウクライナ Chernobyl	
20	8.3E-08	Cs	1986/4/26	1986	ウクライナ Chernobyl	
20	1.3E-09	Cs	1986/4/26	1987	ウクライナ Chernobyl	
20	8.2E-09	Cs	1986/4/26	1987	ウクライナ Chernobyl	
20	1.7E-08	Cs	1986/4/26	1987	ウクライナ Chernobyl	
20	4.0E-10	Cs	1986/4/26	1988	ウクライナ Chernobyl	
20	3.2E-09	Cs	1986/4/26	1988	ウクライナ Chernobyl	
20	7.0E-09	Cs	1986/4/26	1988	ウクライナ Chernobyl	
20	2.0E-10	Cs	1986/4/26	1989	ウクライナ Chernobyl	
20	1.4E-09	Cs	1986/4/26	1989	ウクライナ Chernobyl	
20	3.4E-09	Cs	1986/4/26	1989	ウクライナ Chernobyl	
20	8.0E-11	Cs	1986/4/26	1990	ウクライナ Chernobyl	
20	6.0E-10	Cs	1986/4/26	1990	ウクライナ Chernobyl	
20	1.5E-09	Cs	1986/4/26	1990	ウクライナ Chernobyl	
20	1.0E-10	Cs	1986/4/26	1991	ウクライナ Chernobyl	
20	8.0E-10	Cs	1986/4/26	1991	ウクライナ Chernobyl	
20	1.8E-09	Cs	1986/4/26	1991	ウクライナ Chernobyl	
20	2.0E-10	Cs	1986/4/26	1992	ウクライナ Zapolie	
20	7.0E-10	Cs	1986/4/26	1992	ウクライナ Zapolie	
20	1.2E-09	Cs	1986/4/26	1992	ウクライナ Zapolie	
20	5.0E-10	Cs	1986/4/26	1991/12	ウクライナ Kiev	
20	1.5E-09	Cs	1986/4/26	1991/12	ウクライナ Kiev	
20	2.5E-09	Cs	1986/4/26	1991/12	ウクライナ Kiev	
20	1.0E-09	Pu	1986/4/26	1991/12	ウクライナ Kiev	
20	2.7E-09	Pu	1986/4/26	1991/12	ウクライナ Kiev	
20	6.4E-09	Pu	1986/4/26	1991/12	ウクライナ Kiev	
20	1.1E-09	Sr	1986/4/26	1991/12	ウクライナ Kiev	
20	2.4E-09	Sr	1986/4/26	1991/12	ウクライナ Kiev	
20	5.9E-09	Sr	1986/4/26	1991/12	ウクライナ Kiev	