

東日本大震災で発生した災害廃棄物等の処理について（Ⅴ） ～災害廃棄物等の埋立時における被ばく計算について～

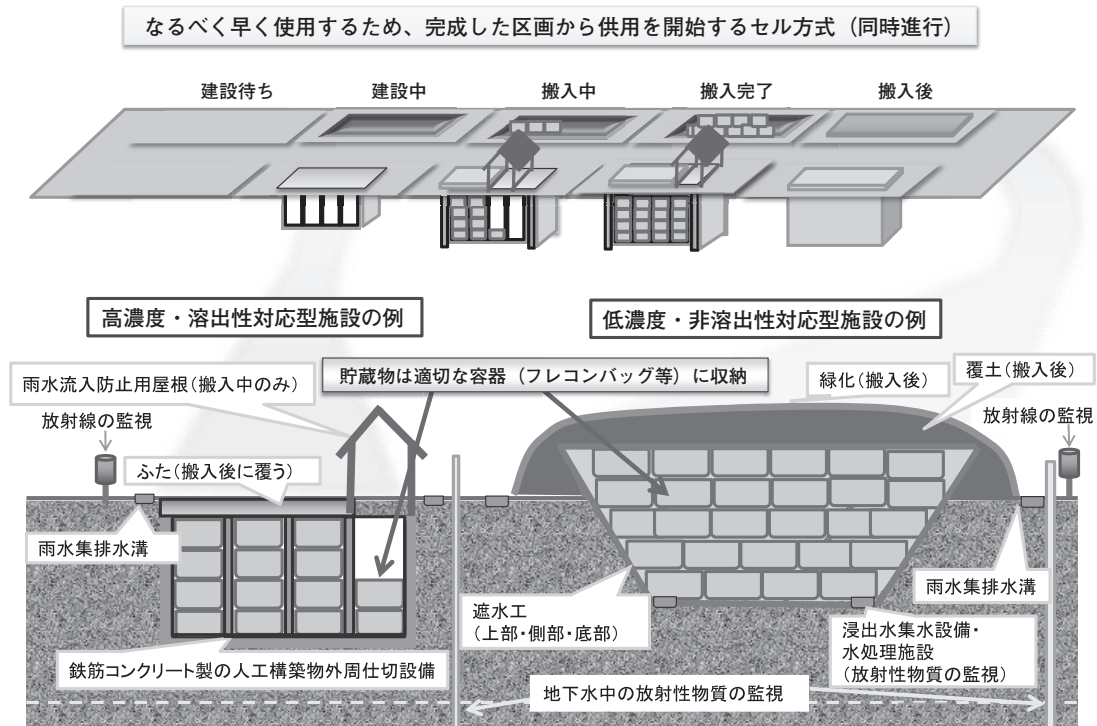
技術士（衛生工学・建設・環境）・環境カウンセラー
第一種放射線取扱主任者、甲種危険物取扱者など

環境計画センター 専任理事 **かぎや つかさ**
鍵谷 司

震災復興を本格的に実施するためには、発生した膨大なガレキ類及び除染した放射性セシウムを含む土壌の適正な処理・処分が不可欠である。可燃性ガレキを焼却すれば放射性セシウムを含む焼却灰が発生し、不燃性ガレキ等も最終的には埋立処分せざるをえない。最終処分場の確保に当たっては、関係者の同意が不可欠であるが、含まれる放射性セシウムに対する懸念から反対が強く、立地場所が容易に決まらない。このため、とりあえず中

間貯蔵施設（図－１）を設置して当分の間ここに貯留し、最終処分場が確保できた時点で移動して撤去するとしている。しかし、最終処分場設置の目途が全く立たない状況では中間貯留施設の設置さえも困難を極めている。いずれにしても最終的には放射性セシウムを含む廃棄物や土壌等を埋立処分することになり、極めて長期間にわたって適切に管理しなければならない。＊①

ところで、既存の一般廃棄物最終処分場、



図－１ 中間貯蔵施設のイメージ図

中間貯蔵施設あるいは専用の最終処分場において運搬、積み下ろしや埋立作業を伴うので、作業員の被ばく線量及び周辺の一般住民の被ばく線量が大きな問題となる。放射性物質を含む災害廃棄物の処分を第9回災害廃棄物安全評価検討会（平成23年11月15日）における配布資料、資料11-1「福島県の浜通り及び中通り地方（避難区域及び計画的避難区域を除く）の災害廃棄物の処理・処分における放射性物質による影響の評価について」（平成23年6月19日）^{※②}及び資料11-2「災害廃棄物の処理・処分のシナリオに対する線量評価結果の整理」（平成23年11月15日）、日本原子力研究開発機構 安全研究センター）^{※③}において放射性セシウムを含む災害廃棄物の処理・処分が作業員や周辺住民に与える影響を評価するため、評価シナリオ、評価経路、パラメータを設定し、災害廃棄物に含まれるCs134、Cs137（=Cs134+Cs137）について、単位濃度（1Bq/g）当たりの被ばく量を計算している。また、放射性物質による影響のシナリオは、①解体・分別シナリオ、②焼却処理シナリオ、③埋設処分シナリオ、④再利用シナリオからなる。

今回は、放射性セシウムを含む災害廃棄物の埋立処分にあたり、作業員の被ばく線量の計算について紹介する。なお、上記の公開資料を精査したが、計算条件は明記されているものの計算ソフトでなければ検証できない項目もある。また、大阪府では、府域内で放射性物質を含む災害廃棄物を受入処理する場合の処理指針が作成されているので、その概要を「追記」で記載した。

1. 災害廃棄物の取り扱いに伴う被ばくシナリオと計算方法

(1) 災害廃棄物の取り扱いにおける被ばくシナリオ

放射性物質を含む災害廃棄物を処理するにあたっては、発生した膨大な災害廃棄物を集めて仮保管場所に保管されているが、関係自

治体だけでは中短期的に処理することは困難である。このため、他の自治体が受け入れて処理する広域的な処理が推進されている。保管場所から他地域で適正に処理を実施するためには様々な工程がある。放射性物質が含まれているので、これを移動や処理するに当たっては被ばくする可能性が懸念される。

このため、各工程における作業内容ごとに被ばく線量の算定が必要であり、どのような作業で、どの程度の被ばくをするか、などについての知見を得ることにより、不必要な被ばくを防ぐことができる。上記の資料では、作業内容から、①解体・分別シナリオ、②焼却処理シナリオ、③埋設処分シナリオ、④再利用シナリオに分類して作業員や関係一般住民に対する被ばく計算方法を示している。以下、簡略に示す。

①解体・分別シナリオ；

震災後に発生した災害廃棄物の解体・分別に従事する作業員への影響を想定したシナリオ。評価対象となる作業内容は次のとおりである。

○災害廃棄物の分別作業；線源は山積みの災害廃棄物

○コンクリート建造物（廃棄物）の解体作業；線源はコンクリート廃棄物

○金属廃棄物の解体・分別作業；線源は金属廃棄物

②焼却処理シナリオ；

木材などの可燃物である災害廃棄物を焼却・溶融施設にて処理する際の作業員への影響、処理施設の周辺居住者への影響、溶融固化物の再利用した場合の一般公衆への影響を想定したシナリオ。また、災害廃棄物を焼却処理することによって生じた焼却灰が埋設処分される過程における焼却灰の埋設・操業に係る作業員への影響や、埋設処分後の跡地利用や処分場周辺の地下水利用による一般公衆への影響を評価する。評価対象となる作業（内容）は次の通りである。

○可燃物の取扱い（積下し、運搬）；線源は可

燃物

- 焼却炉作業（炉補修）；炉内焼却灰
- 焼却炉の周辺（周辺居住、農作物、畜産物）；線源は粉じん、土壌、農作物・畜産物
- 焼却灰取扱い（積み下ろし、運搬、埋設）；線源は焼却灰
- 跡地利用（建設、居住、農耕、農作物・畜産物摂取、公園利用）；線源は、焼却灰、混合土壌、跡地で生産された農作物・畜産物、埋立廃棄物（焼却灰）
- 地下水移行（農耕、飲料水・農作物・畜産物・養殖淡水産物摂取）；線源は飲料水、土壌、灌漑された土壌で生産された農作物・畜産物、井戸水で飼育された水産物
- 溶融炉作業（溶融炉補修）；線源は炉内溶融固化物
- 溶融炉周辺（周辺居住、農作物、畜産物）；線源は粉じん、付着土壌での生産物
- 溶融固化物の取り扱い（積み下ろし、運搬）；線源は溶融固化物
- 溶融固化物の再利用（駐車場、壁材等）；線源は駐車場、壁材等
- ③埋設処分シナリオ；
コンクリートなどの不燃性の災害廃棄物を直接処分する際の埋設・操業に係る作業員への影響と、埋設処分後の跡地利用や処分場周辺の地下水利用による一般公衆への影響を想定したシナリオ。
- 操業（積み下ろし、運搬、埋設）；廃棄物（災害廃棄物）
- 跡地利用（建設、居住、農耕、農作物・畜産物摂取、公園利用）；線源は、焼却灰、混合土壌、跡地で生産された農作物・畜産物、埋立廃棄物（焼却灰）
- 地下水移行（農耕、飲料水・農作物・畜産物・養殖淡水産物摂取）；線源は飲料水、土壌、灌漑土壌で生産された農作物・畜産物、井戸水で飼育された水産物
- ④再利用シナリオ；
金属やコンクリートといった災害廃棄物を再利用、あるいは再利用のために処理する場

合の作業員への影響、処理施設周辺の居住者への影響、リサイクル製品を利用する一般公衆への影響を想定したシナリオ。再利用の範囲、方法及び作業員や居住時の条件が事例ごとに大きく異なるので、評価対象、再利用形態、再利用品と作業等について省略する。

ここでは、放射性セシウムを含む災害廃棄物の埋立処分時の作業員に対する被ばく計算内容について紹介する。なお、各作業における被ばく経路としては、次の4ケースが想定されているが、焼却灰の埋立時の被ばく線量の計算では、②、③、④は①と比較して桁違いに小さいので、ここでは①について計算方法を紹介する。

- ①作業員の外部被ばく；
- ②粉じん吸入による内部被ばく；
- ③直接経口被ばく；
- ④皮膚被ばく；

(2) 焼却灰 & 災害廃棄物の埋設処分時の被ばく計算式

放射性セシウムを含む焼却灰等を埋立処分する際に作業員の被ばく線量の計算は次式により求める。なお、外部被ばく計算は、焼却灰中の濃度あたりの年間被ばく線量（mS/y per Bq/g）を算出し、これに単位重量あたりの放射能濃度（Bq/g）を乗じて算出する。

現状で問題となる核種は、Cs134とCs137であり、それぞれの核種ごとに求めた外部被ばく線量を合計して年間被ばく線量を算出する。現状におけるCs134とCs137の存在割合は0.806対1.000（44.6；55.4）であるが、Cs134の半減期は約2年であり、毎月2%程度減衰することに注意する必要がある。なお、被ばく中の減衰期間を1年としている。

2. 埋立作業員等の被ばく量の計算事例

(1) 被ばく計算の考え方について！

周辺居住区の空間線量率（被ばく）は、埋立地敷地境界からの距離、埋立後の覆土などにより減衰させることができるが、埋立作業

$$\text{Dext}(i) = \text{Cw}(i) \cdot \text{So} \cdot \text{to} \cdot \text{DFext}(i) \cdot \frac{1 - \exp(-\lambda i \cdot ti)}{\lambda i \cdot ti}$$

ここで、

$\text{Dext}(i)$ ；作業時における核種 (i) による外部被ばく線量 ($\mu \text{S}/\text{y}$)

$\text{Cw}(i)$ ；作業中の核種の濃度 (Bq/g) ($= \text{Cw}(o) \cdot \text{Fwc}$)

$\text{Cw}(o)$ ；災害廃棄物処理焼却灰中の核種 (i) の濃度 (Bq/g)

Fwc ；埋立物中に占める災害廃棄物処理焼却灰の割合 (希釈係数)

So ；外部被ばくに対する遮へい係数

to ；年間作業時間 (h/y)

$\text{DFext}(i)$ ；放射性核種 i の外部被ばくに対する線量換算係数 ($\mu \text{Sv}/\text{h per Bq}/\text{g}$)

線源配置、形状、高さ、密度 (g/cm^3) や焼却灰の上 (地上高さ) により変わる

λi ；放射性核種 i の崩壊係数 ($1/\text{y}$) ($\lambda i = \ln 2 / T(1/2)(i)$)

⇒ $T(1/2)(i)$ は核種 i の半減期 — — — Cs134 が 2 年、Cs137 が 30 年

λ (Cs134) が約 0.35、 λ (Cs137) が約 0.023

ti ；被ばく中の減衰期間 (y)；1 年

を行う作業員は、作業中には覆土がないことや距離減衰を期待できないことから、一定以上の強さの放射能が含まれていれば、被ばく量が許容値 ($1 \text{mSv}/\text{年}$) を超えることになる。緊急時には、作業時間を短縮するなどの被ばく管理を行うことができるが、日常業務として 8 時間稼働を想定して被ばく計算が行われている。

一方、 $100,000 \text{Bq}/\text{Kg}$ を超える放射能を含む焼却灰等の埋立作業では被ばく基準値を満たすことができないので、貯留することが義務付けられていると解される。貯留に当たっては、飛散防止のために固化などの処理が行われるが、処理は直接手作業ではなく、機械類の操作により行うことができるので、被ばく管理は比較的容易であると考えられる。

災害廃棄物の焼却処理後に発生する焼却灰の埋立作業時における国が示した計算条件は次のとおりである。上述の日本原子力研究開発機構安全研究センターの評価シナリオで採用されたパラメータに基づいた計算事例である。

《計算条件》

○放射性物質は、土壤放射能測定結果より Cs134/Cs137 = 0.806 (44.6；55.4) とする。

○災害廃棄物処理焼却灰中の核種 (i) の濃度 ($\text{Cw}(o)$)；(Bq/g)

⇒①災害廃棄物処理焼却灰のみの埋立てた場合は $1 (\text{Bq}/\text{g})$

○年間作業時間 (to)；従来のクリアランスレベル評価と同様に、国土交通省土木工事積算基準に示された標準作業量を参考に、1 日当たりの作業量を 100t、1 日 8 時間労働、うち半分の時間 (4 時間) を焼却灰の傍で作業するものとした。

焼却灰の埋立量に応じて算出するが、国の事例では $1,000 \text{hr}$ (1 日 8 時間、年間 250 日の労働時間のうち、半分の時間 (4 時間) を焼却灰の傍で作業するものとする)。なお、作業員の被ばく線量を少なくするためには、複数の作業員により一人当たりの作業時間を短縮するなど工夫もありうる。

⇒既存の焼却炉で焼却する併用ケース (A、B) と専用の仮設炉ケースに区分して年間の作業時間を 130～900 時間に設定してい

る。

なお、1日6時間の作業した場合には、年間250日；1,500(h/y)となる

○埋立処分の操業作業時における希釈係数(Fwc)；廃棄物処理法の最終処分基準省令では、廃棄物層厚3mごとに50cmの覆土が規定されているので0.86(3/3.5)程度の希釈が見込まれるとした。核種が付着した状態の覆土前の焼却灰のみを取り扱うとした場合は1を採用する事例もある。

○埋立物中に占める災害廃棄物の処理焼却灰の割合(Fwc)；

⇒①災害廃棄物処理焼却灰のみの埋立てた場合は1(Bq/g)

②一般廃棄物に混ぜて埋立した場合、災害廃棄物の処理焼却灰の割合で案分する。

○埋立作業時の遮蔽係数(So)；0.4

※重機を使用した際の遮へいを考慮する。埋設作業時の重機(4m×4m、高さ1m、厚さ2cmの鉄板を想定)を使用した。Cs134及びCs137に対する遮へい係数は点減衰核積算計算コード(QAD-CGGP2Rコード)※④)、⑤)、⑥)により計算した0.4を採用した。

なお、重機を使わない埋立作業においては1を用いている事例もある。

○外部被ばくに対する線量換算係数DFext(i)；単位濃度当たりの実効線量の計算は、以下の条件でQAD-CGGP2Rコードにより算出されたとある。従来のクリアランスレベル評価で設定されている換算係数が設定されているのでそれを用いた。なお、計算条件は次の通りであるが、計算ソフトがなければ算出できないので、追跡計算はできなかった。

- 線源の形状；高さ5.83m、半径53mの円柱を想定；なお、QAD-CGGP2Rコードでは、線源の形状を円柱、長方形や球形が設定でき、密度により線源の大きさが異なると考えられるが、詳細は不明。
- 線源のかさ密度；1.6g/cm³
- 評価点；円面の中心から1m

※汚泥、災害廃棄物あるいは災害廃棄物の焼却灰により係数は異なる。線量換算係数の算出方法が明記されていないので、線源の形状や密度の違い等による変動を算定できなかった。

(2) 計算結果

①計算に用いた数値(国)

Cw(i)；作業中の核種の濃度(Bq/g)(=Cw(o)・Fwc)⇒1

Cw(o)；災害廃棄物処理焼却灰中の核種(i)の濃度(Bq/g)⇒1

Fwc；埋立物中に占める災害廃棄物処理焼却灰の割合⇒0.86

So；外部被ばくに対する遮へい係数⇒0.4

to；年間作業時間(h/y)

⇒併用ケースAで200時間、併用ケースBで900時間、仮設炉で130時間

DFext(i)；放射性核種iの外部被ばくに対する線量換算係数(μSv/h per Bq/g)

線源の形状(円柱；半径53m、高さ5.83m)、高さ1.5m、密度1.6g/cm³の焼却灰の上(地上1m)にいた場合；計算内容は不明。

⇒Cs134=0.43(μSv/h per Bq/g)、Cs137=0.15(μSv/h per Bq/g)

λi；放射性核種iの崩壊係数(1/y)(λi=ln2/T(1/2)(i))

⇒T(1/2)(i)は核種iの半減期Cs134が2年、Cs137が30年、

⇒λ(Cs134)が約0.35、λ(Cs137)が約0.023

ti；被ばく中の減衰期間(y)；1年

②計算結果；

放射性Csの濃度を8,000Bq/Kgに設定すると、Cs134及びCs137の総濃度は8Bq/gとなる。原子力安全委員会の「東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の影響を受けた廃棄物の処理処分等に関する安全確保の当面の考え方について」(平成23年6月3日)※⑥)では、災害廃棄物の処理処分に当たる作業や処理に伴って周辺住民の受ける影響について

は1 mS/年、処分に伴って周辺住民の受ける影響については10 μ S/年以下になるよう求められている。下記に計算結果を示した。

【焼却処理シナリオ：併用ケースA】

焼却炉150t/日(50t $\times$ 3基)で災害廃棄物を一般廃棄物焼却炉で焼却したケースで、災害廃棄物の割合を27%とした。ここから発生する焼却灰は処理量の1/10であり、これを最終処分とした。なお、年間被ばく線量は、それぞれの存在割合(Cs134：Cs137=44.6%：55.4%)を乗じて算出する。以下、同じ。参考文献②資料11-1より。

①単位廃棄物濃度あたりの年間被ばく線量(mSv/y per Bq/g)：※②の表3-2 No.31より

$$\textcircled{\circ} \text{Cs134}(0.078 \times 0.446) + \text{Cs137}(0.032 \times 0.554) = 0.052$$

②放射能濃度が8,000(Bq/kg)の場合

$$\text{年間被ばく量} = 0.052 \times 8 = 0.42\text{mS} < 1\text{ mS}$$

③1 mS/年に相当する災害廃棄物中の放射能濃度(Bq/g)：※②の表3-2 No.31の右欄

$$\textcircled{\circ} \text{Cs134}(13) + \text{Cs137}(32) \Rightarrow 19(\text{Bq/g}) \\ \Rightarrow 19,000(\text{Bq/Kg})$$

【焼却処理シナリオ：併用ケースB】

焼却炉390t/日(130t $\times$ 3基)で災害廃棄物を一般廃棄物焼却炉で焼却したケースで、併用ケースAと同じ条件で埋め立てるとした。

①単位廃棄物濃度あたりの年間被ばく線量(μ Sv/y per Bq/g)：※②の表3-3 No.31より

$$\textcircled{\circ} \text{Cs134}(0.35 \times 0.446) + \text{Cs137}(0.14 \times 0.554) = 0.24$$

②放射能濃度が8,000(Bq/kg)の場合

$$\text{年間被ばく量} = 0.24 \times 8 = 1.92\text{mS} > 1\text{ mS}$$

③1 mS/年に相当する災害廃棄物中の放射能濃度(Bq/g)：※②の表3-3 No.31の右欄

$$\textcircled{\circ} \text{Cs134}(2.9) + \text{Cs137}(7.0) \Rightarrow 4.2(\text{Bq/g}) \\ \Rightarrow 4,200(\text{Bq/Kg})$$

【焼却処理シナリオ：仮設炉ケース】

専用の焼却炉100t/日で災害廃棄物を焼却したケースで、災害廃棄物を100%焼却する

とし、併用ケースAと同じ条件で埋め立てるとした。

①単位廃棄物濃度あたりの年間被ばく線量(μ Sv/y per Bq/g)：※②の表3-4 No.31より

$$\textcircled{\circ} \text{Cs134}(0.19 \times 0.446) + \text{Cs137}(0.076 \times 0.554) = 0.13$$

②放射能濃度が8,000(Bq/kg)の場合

$$\text{年間被ばく量} = 0.13 \times 8 = 1.04\text{mS} > 1\text{ mS}$$

③1 mS/年に相当する災害廃棄物中の放射能濃度(Bq/g)：※②の表3-4 No.31の右欄

$$\textcircled{\circ} \text{Cs134}(5.3) + \text{Cs137}(13) \Rightarrow 7.9(\text{Bq/g}) \\ \Rightarrow 7,900(\text{Bq/Kg})$$

3. 焼却灰の埋設処分時の被ばく線量の計算結果

資料11-2「災害廃棄物の処理・処分のシナリオに対する線量評価結果の整理」(平成23年11月15日、日本原子力研究開発機構 安全研究センター)※③において放射能によって汚染された災害廃棄物の処理・処分が作業員や周辺住民に対する被ばく計算結果が掲載されている。上記に焼却処理時の3ケースについて発生する放射性セシウムを含む焼却灰の埋立処分時の作業員に対する計算結果を示したが、処理、輸送、貯留に携わる作業員に対する被ばく線量が掲載されている。作業内容により被ばく線量が異なり、その数値は作業条件によっても変動するが、被ばく線量の少ない作業であるか、多い作業であるか、一つの目安となろう。

以下に、【焼却処理シナリオ：併用ケースA：150t/日；50t/日 $\times$ 3炉】において発生する焼却灰の埋設作業と災害廃棄物をそのまま埋設処分した場合の単位廃棄物中濃度あたりの年間被ばく線量(mSv/y per Bq/g)と年間1 mSv相当の災害廃棄物中濃度(Bq/g)を表-1に示す。放射性セシウムにはCs134とCs137のそれぞれについて計算されているが、その存在割合を乗じて合計で示した。※②

なお、単位廃棄物中濃度あたりの年間被ば

表－１ 災害廃棄物の処理・輸送・貯留に係る作業者の被ばく計算事例

被ばく経路の略称	年間被ばく線量* (mSv/y per Bq/g)	年間 1 mSv 相当* (Bq/g)
①可燃物積み下ろし作業（外部被ばく）	⑥ 0.0081	⑥ 120
②可燃物積み下ろし作業吸入	0.000047	210,000
③可燃物積み下ろし作業直接経口摂取	0.00077	13,000
④可燃物運搬作業（外部被ばく）	⑤ 0.018	⑤ 55
⑤焼却炉補修作業（外部被ばく）	② 0.039	② 26
⑥焼却炉補修作業吸入	0.000085	12,000
⑦焼却炉補修作業直接経口摂取	0.00069	1,400
⑧焼却灰積み下ろし作業（外部被ばく）	③ 0.037	③ 27
⑨焼却灰積み下ろし作業吸入	0.000019	53,000
⑩焼却灰積み下ろし作業直接経口摂取	0.000015	6,500
⑪焼却灰運搬作業（外部被ばく）	④ 0.027	④ 37
⑫焼却灰埋立作業（外部被ばく）	① 0.052	① 19
⑬焼却灰埋立作業吸入	0.000019	53,000
⑭焼却灰埋立作業直接経口摂取	0.00015	6,500
実効線量の最大値⑫焼却灰埋立作業（外部被ばく）	0.052	19

※欄内の①～⑥は年間被ばく線量が高い順及び年間 1 mSv 相当濃度が低い順を示す。

く線量（mSv/y per Bq/g）が低いことは、年間 1 mSv 相当の災害廃棄物中濃度が高くて基準を満たす、つまり、より安全であることを意味する。

表－１より明らかなように、災害廃棄物の処理・輸送・埋立等作業において最も被ばく線量が高かった作業事例は、次の順であり、年間被ばく線量（mSv/y per Bq/g）が 1 mSv に相当する放射能濃度は次の通りであった。なお、右端に kg 当たりの濃度を示す。

- ①焼却灰埋立作業（外部）；0.052(mSv/y per Bq/g) ⇒19,000 Bq/Kg
- ②焼却炉補修作業（外部）；0.039(mSv/y per Bq/g) ⇒26,000 Bq/Kg
- ③焼却灰積み下ろし作業（外部）；0.037(mSv/y per Bq/g) ⇒27,000 Bq/Kg
- ④焼却灰運搬作業（外部）；0.027(mSv/y per Bq/g) ⇒37,000 Bq/Kg

⑤可燃物運搬作業（外部）；0.018(mSv/y per Bq/g) ⇒55,000 Bq/Kg

⑥可燃物積み下ろし作業（外部）；0.0081(mSv/y per Bq/g) ⇒120,000 Bq/Kg

いずれのケースでも線源の近くでの作業に伴う外部被ばくであり、これ以外の作業に伴う被ばく線量は非常に低いので、問題になることはなさそうである。

４．解説

①災害廃棄物の焼却能力（焼却量）による違い；
焼却処理シナリオの①併用ケース A と②併用ケース B の計算結果によると、作業者の年間被ばく量を 1 mSv/年以下になるためには、それぞれ 19,000(Bq/Kg) と 4,200(Bq/Kg) であった。埋立条件がほぼ同じであるが、焼却能力が違うので焼却灰の発生量、つまり埋立時の取扱量が違うので、被ばくする作業時間

が異なる。

①と②は災害廃棄物処理焼却灰中の核種(Cs)の濃度が同じと設定しているので、被ばく線量は作業時間に比例することになるので、併用ケースA(200hr)と②併用ケースB(900hr)では4.5倍の違いが生じる。

($= 19,000/4,200 = 4.5$)

②併用焼却(家庭ごみ焼却炉で災害廃棄物を混焼)と専焼(仮設炉)で焼却した場合
焼却処理シナリオの①併用ケースAと③仮設炉の計算結果によると、作業者の年間被ばく量を1mSv/年以下になるためには、それぞれ19,000(Bq/Kg)と7,900(Bq/Kg)であった。埋立条件がほぼ同じであるとして、焼却能力が違うので焼却灰の発生量、つまり埋立時の取扱量が違うので、作業時間が異なる。また、併用ケースAでは災害廃棄物が27%混入したと設定されているが、仮設炉ではすべて災害廃棄物の焼却灰(Cs濃度=1)である。

被ばく線量は作業時間に比例するので、併用ケースA(200hr)と③仮設炉(130hr)では0.65倍に、また、被ばく線量は核種の濃度に比例するので、①では27%の災害廃棄物の焼却灰を含むので希釈されて27%に、③ではすべて災害廃棄物の焼却灰なので100%となる。他の条件は同じと想定できるので、被ばく線量は、核種の濃度と作業時間に比例すると考えられるので、①の年間被ばく量が0.42mSvであるので、②ではその約2.4倍の1.01mSv、年間1mSvの被ばくする核種濃度は19,000Bq/Kgに対して7,900Bq/Kgとなる。

つまり、①併用ケースAに比べて低い濃度でも1mSv/年に達することになる。(= $19,000/0.65(130/200) \times 3.7(100/27) \div 2.4 \div 7,900$)

③災害廃棄物焼却処理で発生する焼却灰を埋め立てた際の被ばく計算について

埋立作業時における作業員の直接被ばく量(外部被ばく)の算出方法と計算結果を示したが、この他にも作業に伴う②粉じん吸入による内部被ばく、③直接経口による内部被ばく、④皮ふ被ばくが想定されている。それぞれの

計算結果は下記の通りであり、外部被ばく線量が最も高かったので、他は省略した。なお、焼却炉内作業あるいは災害廃棄物に直接触れる可能性のある作業者の皮ふが受ける被ばくについては無視できないので、これらを算出して被ばく量を合算して評価する必要がある。
※計算事例；①併用ケースAの条件で算出した結果、単位廃棄物中濃度あたり年間被ばく量(mSv/y per Bq/g)と被ばく量1mSv/年に相当する災害廃棄物中の放射能濃度(Bq/g)を表す。

○外部被ばく； $0.052\text{mSv/y per Bq/g} / 19(\text{Bq/g})$

○焼却灰埋立作業吸入被ばく； $0.000019\text{mSv/y per Bq/g} / 53,000(\text{Bq/g})$

○直接経口被ばく； $0.00015\text{mSv/y per Bq/g} / 6,500(\text{Bq/g})$

④課題；公表された評価パラメータだけでは、簡単に算出できない項目がある。

外部被ばくに対する線量換算係数；従来のクリアランスレベル評価で設定されている換算係数が設定されている。以下の条件で点減衰核積算計算コード(QAD-CGGP2Rコード)により算出したとあるが、QAD-CGGP2Rコードの説明がないこと、下記の条件がどのように計算に反映されているか不明である。これまで公表されている資料には掲載されていると考えられるが、確認できなかった。参考文献を⑤と⑥に掲載した。

〈おわりに〉

計算条件を精査すると、パラメータの数値は計算結果が大きく算定されるように安全側の数値設定が行われている。しかしながら、ごみ焼却施設の能力、混焼率、埋立処分場の立地条件、形状、大きさ、作業方法の仕方などは千差万別である。上記の計算方法は、標準的なモデルを想定して算出したものであり、条件が変動した場合の作業員の被ばく量はかなり変動する。現場においてはコンピュータで計算する能力も時間も期待できない場合も

あるので、簡略に算出できる方法が開発し、パラメータを決めるだけで、被ばく量が計算できるようにしていただきたい。

〈追 記〉

国より震災廃棄物の他地域において受入処理する広域処理が要請されている。全国の都道府県下の自治体が受け入れを検討したものの、具体的な段階になると放射性セシウムが含まれていることから持ち込みに大反対が起こり、ほとんど受け入れ処理ができていない。唯一、東京都が3年間で50万トンの災害廃棄物の受け入れを実行しているにすぎない。

大阪府においても災害廃棄物の受け入れを検討しており、府域内で受け入れる際を守るべき処理指針が作成されている。平成23年12月に「大阪府域における東日本大震災の災害廃棄物処理に関する指針」※⑦が公表されている。指針は次の目次から構成されており、ここでは、3.処理の対象とする災害廃棄物と4.災害廃棄物の処理における放射性物質に係る事項について引用する。なお、受け入れる焼却施設及び管理型最終処分場はまだ未定である。

【指針の構成】

1. 目 的
2. 基本的事項
3. 処理の対象とする災害廃棄物
4. 災害廃棄物の処理における放射性物質に係る事項
5. 災害廃棄物の処理の流れの概要
6. 災害廃棄物の処理工程
 - 1) 仮置場からの搬出作業について
 - 2) 災害廃棄物の運搬について
 - 3) 選別・中間処理について
 - 4) 埋立処分について
7. 適正処理の管理
8. 情報の公開

大阪府内には、大阪湾広域臨海環境整備センターの海面埋立処分場（管理型）はあるが、

水面埋立処分場である。水面埋立てについては、平成23年8月29日付け環境省通知「一般廃棄物処理施設における放射性物質に汚染されたおそれのある廃棄物の処理について」により、放射性物質濃度が8,000Bq/kg以下の焼却灰等の埋立処分については、焼却灰等と水がなるべく接触しないような対策の考慮や、土壌の層の上に焼却灰を埋め立てるなど、より安定した状態で埋立処分を行うよう示されているが、水面における埋立処分の取り扱いについては、具体的な見解は示されていない。

「今後、国から処理基準について見解が示された段階で、専門家の意見を聞き、処理方法について取りまとめることとする。」としている。

ところで、管理型海面埋立処分場は、周囲が遮水性護岸で囲まれており、最終処分場基準省令で規定する遮水工が設置されているので、放射性セシウムを含んだ汚水が外海へ漏出することはない。海面埋立処分場は、廃棄物や汚水が封じ込められており、海水中へ廃棄物を投入した場合の排除水及び降雨水による余水（汚水）は所定の排水基準まで処理して排水する。つまり、管理された状態で廃棄物を埋め立てる場所であり、海洋投棄（所定の外海に投棄；原則禁止）とは全く違うことを理解しておいていただきたい。

【3.処理の対象とする災害廃棄物】

処理の対象とする災害廃棄物の種類は、以下に示す廃棄物のうち、可燃廃棄物とする。不燃廃棄物、津波堆積物及び特別管理廃棄物等については処理の対象としない（福島県内の災害廃棄物は処理の対象とされていない。）。

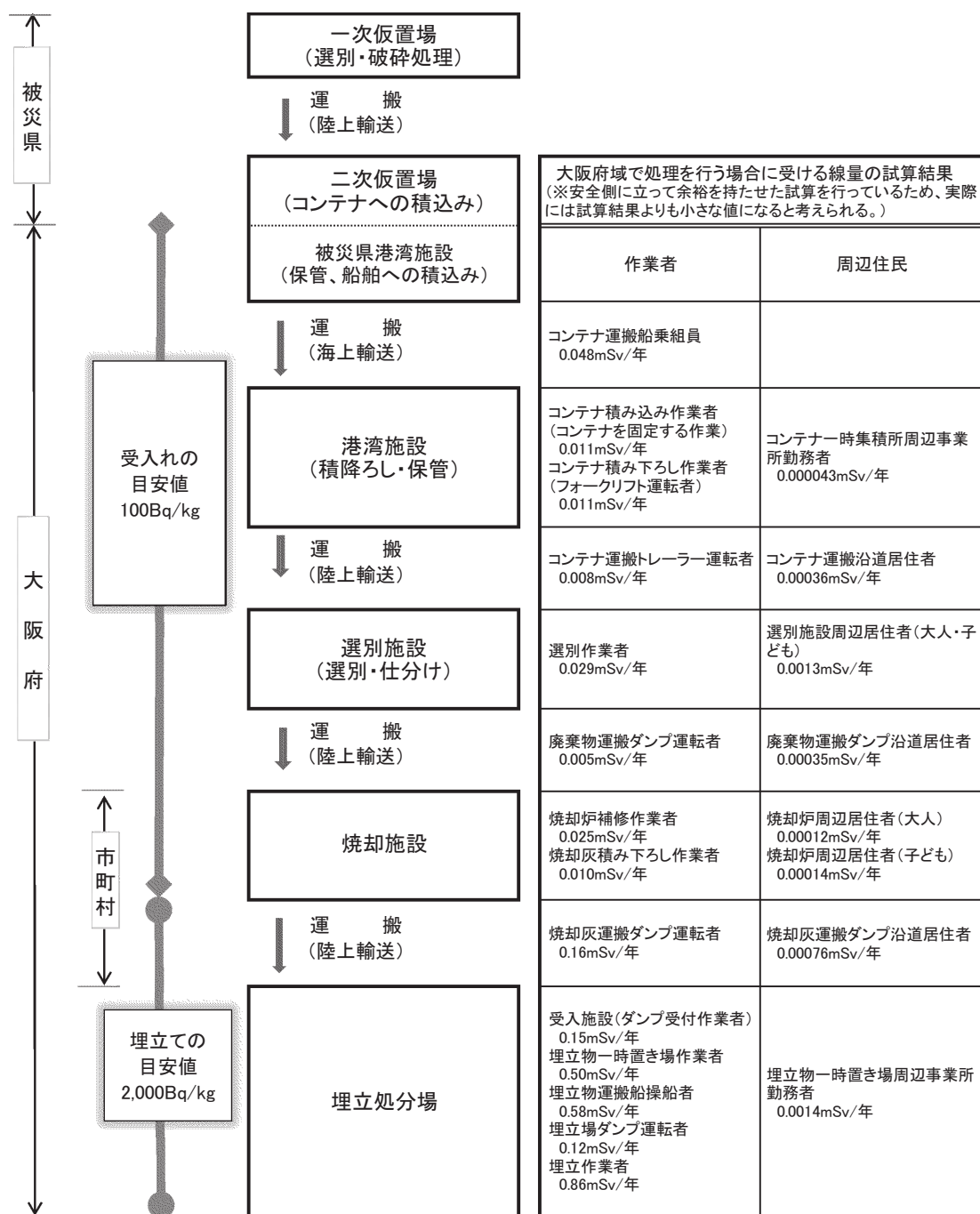
ただし、被災地の事情により止むを得ないときは、可燃廃棄物と不燃廃棄物が混合した混合廃棄物も対象に含めることとする。

- ア 可燃廃棄物：木くず、紙くず、繊維くず、廃プラスチック等可燃性のもの
- イ 不燃廃棄物：コンクリートがら、金属等不燃性のもの
- ウ 混合廃棄物：アとイが混合しているもの

- エ 津波堆積物：津波によって発生した汚泥・土砂類
- オ 特別管理廃棄物等：廃石綿等、PCB廃棄物、感染性廃棄物など特別管理廃棄物及び石綿含有廃棄物に該当するもの

【4.災害廃棄物の処理における放射性物質に係る事項】

- ①対象とする放射性物質は、Cs134及びCs137とする。
- ②周辺住民や作業者の受ける線量限度は、一



図－2 災害廃棄物の処理の流れと各処理工程の周辺住民や作業者の受ける線量の試算結果

一般公衆の年間線量限度とされている 1 mSv／年^{※1)}を下回ることをする。
これを十分満足できるように、受け入れる災害廃棄物の放射性物質濃度の目安値（以下「受入れの目安値」という。）を 100Bq／kg

^{※2)}、埋め立てる焼却灰等の目安値（以下「埋立ての目安値」という。）を 2,000Bq／kg とする。なお、目安値は Cs134 と Cs 137 の合計値とする。

〈参考資料〉

- ※1) Sv（シーベルト）とは、放射線によって人体が受ける影響を表す単位です。ひとりの人間が1年間に受ける自然放射線量は、世界平均で2.4ミリシーベルト、日本全国平均で1.48ミリシーベルトです。一般公衆の年間線量限度は、国際放射線防護委員会（ICRP）勧告により、自然放射線と医療放射線を除いて1ミリシーベルトとされています。
- ※2) Bq（ベクレル）とは、放射性物質が放射線を出す能力（1秒間に原子核が崩壊する数）を表す単位です。人の体内には、食品に含まれる自然界由来の放射性物質が存在し、体重60Kg当たりカリウム40で4,000ベクレル、炭素14で2,500ベクレルとなっており、1Kg当たりではそれぞれ67ベクレル、42ベクレルとなります。
- （筆者加筆；カリウム40の半減期は12.51億年、炭素14は5,730年です。）

〈参考文献〉

- ※① 鍵谷司；シリーズ緊急解説③；Q & A；疑問に回答、解説 東日本大震災で発生した災害廃棄物等の処理について～放射性物質が含まれた焼却灰等の埋立処分について～、「環境施設」、NO.126、pp.56-63（2011）
- ※② 資料11－1「福島県の浜通り及び中通り地方（避難区域及び計画的避難区域を除く）の災害廃棄物の処理・処分における放射性物質による影響の評価について」（平成23年6月19日）
- ※③ 資料11－2「災害廃棄物の処理・処分のシナリオに対する線量評価結果の整理」（平成23年11月15日、日本原子力研究開発機構 安全研究センター）
- ※④ 資料2；飛散した放射性物質の影響評価に使用する主なシナリオ及びパラメータについて（案）平成23年6月1日 原子力安全・保安院 放射性廃棄物規制課
- ※⑤ 埋設処分における濃度上限値評価のための外部被ばく線量換算係数、JARI－Date/Code 2008－003
- ※⑥ 東京電力株式会社東通原子力発電所；事故時の線量評価について、平成22年2月9日原子力発電安全審査課
- ※⑦ 大阪府域における東日本大震災の災害廃棄物処理に関する指針（平成23年12月）

〈参考情報〉

環境計画センターでは、ホームページで「放射能・災害廃棄物」「RDF・自然発火」「廃プラ・化学物質」「最終処分場・跡地利用」のページを作成し、調査、研究結果を紹介しています。

とくに、「放射能・災害廃棄物」のページでは鍵谷 司が寄稿した原稿等を掲載するとともに、Q & A シリーズを追加しました。講演等で受けた質問に応える形でまとめています。

現在準備中ですが、次の内容を調査・検討中です。

Q－2：燃料を燃やさない原発になぜ高い煙突があるのか？

Q－3：放射能の濃度に面積当たりと重量当たりがあるが、わかりやすく解説を！

Q－4：放射能で汚染された区域は管理区域か？

HP：<http://www.e-p-center.net> あるいはヤフーやグーグルで「環境計画センター」で検索してください。