

平成27年10月30日
青森県原子力センター

「測定結果に基づく線量算出要領（案）」について

県では、「環境放射線モニタリング結果の評価方法」に基づき、測定結果に施設からの影響がみられた場合には周辺住民等の線量の推定・評価を行い、その結果を報告書において公表することとしている。

測定結果に基づく線量の推定・評価については、その方法の基本的な考え方を示した「六ヶ所再処理工場の操業と線量評価について」（平成18年2月7日青森県）を本監視評価会議の了承を得て策定し、平成18～20年度に、測定結果の一部に再処理工場のアクティブ試験の影響と考えられる変動が認められた場合には、この考え方に基づき線量の推定・評価を行い、その結果を公表してきた経緯がある。

今般、これらの事例を踏まえて、測定結果に施設からの影響がみられた場合の具体的な線量の算出方法について検討を進め、「測定結果に基づく線量算出要領（案）」として別添のとおり作成した。

平成27年10月30日
青森県原子力センター

測定結果に基づく線量算出要領（案）

1. 目的

「原子燃料サイクル施設に係る環境放射線等モニタリング結果の評価方法（平成18年4月改訂 青森県）」及び「東通原子力発電所に係る環境放射線モニタリング結果の評価方法（平成18年4月改訂 青森県）」に基づき推定・評価する施設起因の線量の具体的な算出方法を定めるものである。

2. 線量の推定・評価

測定結果に基づく施設起因の線量の推定・評価は、モニタリング対象施設からの影響について、1年間の外部被ばくによる実効線量と内部被ばくによる預託実効線量をそれぞれ算定し、その結果を総合することで行う。

(1) 施設寄与の判断

施設寄与については、次の事項を踏まえて判断する。

- ① 施設の操業・運転状況（放出源情報等）
- ② 気象・海象
- ③ 過去の測定値の変動状況
- ④ 空間放射線量率についてはγ線のエネルギー情報、環境試料中の放射性核種については安定元素との比や他の核種との比 など

(2) 外部被ばくによる実効線量

モニタリングステーション及びモニタリングポストにおける実効線量の算出においては、NaI(Tl)シンチレーション検出器による空間放射線量率及び大気中の気体状β放射能濃度を用いることとする。^{課題1}それぞれの測定結果に施設寄与が認められた場合は、地点ごとに空間放射線量率（1時間値）からγ線による実効線量と、大気中の気体状β放射能濃度（1時間値）からβ線による実効線量を算出し、両者を合計する。ただし、β線による実効線量の算出は、原子燃料サイクル施設を監視対象とするモニタリングステーションを対象とする。

モニタリングポイントにおいてRPLDによる積算線量の測定結果に施設寄与が認められた場合は、地点ごとに積算線量から実効線量を算出する。

外部被ばくによる実効線量は、上記の地点ごとの実効線量のうち最も高い値とする。

1) γ線による実効線量

① NaI(Tl)シンチレーション検出器の測定結果に基づく算出

空間放射線量率については、SCA 弁別法を用いて求めた人工放射性核種による線量率（以下「推定人工線量率」という。）を1年間分すべて積算し、換算係数0.8^{注1}を乗じて実効線量を算出する（式(1)）。

$$\text{実効線量(mSv)} = \underbrace{\sum \{\text{推定人工線量率(nGy/h)} \times 1(\text{h})\}}_{\text{正負すべての積算値(nGy)}} \times 0.8(\text{Sv/Gy}) / 10^6(\text{nSv/mSv}) \quad \cdots \text{式(1)}$$

注1 環境放射線モニタリング指針（平成20年3月原子力安全委員会）解説I参照

※SCA 弁別法による推定人工線量率算出方法

空間放射線量率を目的変数、SCA(Bi)及び SCA(Tl)を説明変数とする重回帰分析を行い、得られた重回帰式(式(2))から自然放射性核種寄与分の線量率(以下「推定自然線量率」という。)を求め、空間放射線量率から推定自然線量率を差し引いて推定人工線量率を算出する(式(3))。

重回帰式の定数((式(2))の a,b,c)は、使用済燃料のせん断・溶解期間以外で施設寄与を含まない測定値から四半期ごとに算出する。課題²

$$\text{推定自然線量率(nGy/h)} = (a \times \text{SCA(Bi)}) + (b \times \text{SCA(Tl)}) + c \quad \dots \text{式(2)}$$

$$\left(\begin{array}{l} \text{SCA(Bi):Bi-214 エネルギー領域(1.65~2.5MeV)の計数率(cps)} \\ \text{SCA(Tl):Tl-208 エネルギー領域(2.51~3MeV)の計数率(cps)} \\ \text{a,b,c :1時間値を用いた重回帰分析により求めた定数} \end{array} \right)$$

$$\text{推定人工線量率(nGy/h)} = [\text{空間放射線量率(nGy/h)} - \text{推定自然線量率(nGy/h)}] \quad \dots \text{式(3)}$$

② RPLD の測定結果に基づく算出

積算線量については、四半期ごとの測定結果に施設寄与が認められた場合、その測定値から原則として過去5年間の第1~第3四半期の施設寄与が認められない測定値の平均値をバックグラウンドとして差し引き、1年間分積算した値に0.8を乗じて実効線量を算出する(式(4))。ただし、第4四半期については積雪の状況を考慮してバックグラウンドを推定する。課題³

$$\text{実効線量(mSv)} = \Sigma \{ \text{施設寄与分の積算線量}(\mu \text{ Gy}/91 \text{ 日}) \} \times 0.8(\text{Sv}/\text{Gy})/10^3(\mu \text{ Sv}/\text{mSv}) \dots \text{式(4)}$$

2) β線による実効線量

六ヶ所再処理施設の安全審査におけるクリプトン-85からのβ線による実効線量の算出方法に準じ、β線ガスモニタによる大気中の気体状β放射能濃度(1時間値)を1年間分すべて積算し、これに皮膚の等価線量係数、体表面積の平均化係数及び組織荷重係数を乗じて実効線量を算出する(式(5))。気体状β放射能濃度は、気体状β放射能計数率からバックグラウンド計数率を差し引き、クリプトン濃度換算係数を乗じて算出する(式(6))。課題⁴バックグラウンド計数率は、原則として気体状β放射能計数率の推移のベースラインに相当する1年間の最頻値とする。

$$\text{実効線量(mSv)} = \underbrace{\Sigma \text{気体状}\beta\text{放射能濃度(kBq/m}^3)}_{\text{正負すべての積算値(kBq/m}^3)} \times A/365(\text{day}/\text{y})/24(\text{h}/\text{day}) \times 10^3(\text{mSv}/\text{Sv}) \times 10^3(\text{Bq}/\text{kBq}) \times B \times C \quad \dots \text{式(5)}$$

$$\text{気体状}\beta\text{放射能濃度(kBq/m}^3) = (\text{気体状}\beta\text{放射能計数率(s}^{-1}) - \text{バックグラウンド計数率(s}^{-1})) \times K \times 10^{-3}(\text{kBq}/\text{Bq}) \times 10^6(\text{m}^3/\text{cm}^3) \quad \dots \text{式(6)}$$

$$\left(\begin{array}{ll} \text{A: クリプトン-85の}\beta\text{線による皮膚等価線量係数}^{\text{注2}} & : 4.1 \times 10^{-7} ((\text{Sv}/\text{y})/(\text{Bq}/\text{m}^3)) \\ \text{B: 体表面積の平均化係数}^{\text{注2}} & : 1 \\ \text{C: 皮膚の組織荷重係数}^{\text{注2}} & : 0.01 \\ \text{K: クリプトン濃度換算係数}(\text{Bq}\cdot\text{cm}^{-3}/\text{s}^{-1}) & : \text{測定器ごとにクリプトン-85標準ガスを用いて決定} \end{array} \right)$$

注2 出典

係数 A : D.C.Kocher, "Dose-Rate Conversion Factors for External Exposure to Photons and Electrons", NUREG/CR-1918, ORNL/NUREG-79(1981)

係数 B : 「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評価について」(平成元年3月原子力安全委員会了承、一部改訂平成13年3月原子力安全委員会) 原子炉安全基準専門部会報告書

係数 C : "1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection", ICRP Publication 60 (1991)

(3) 内部被ばくによる預託実効線量

1) 対象試料

① 原子燃料サイクル施設

大気浮遊じん、大気、水道水、精米、ハクサイ、キャベツ、ダイコン、ナガイモ、バレイショ、牛乳(原乳)、ワカサギ、シジミ、ヒラメ、コンブ、ホタテ、ヒラツメガニ、イカ、アワビ、ウニ等

② 東通原子力発電所

大気浮遊じん、大気、水道水、井戸水、精米、ハクサイ、ダイコン、キャベツ、バレイショ、アブラナ、牛乳(原乳)、牛肉、ヒラメ、カレイ、アイナメ、ウスマバル、コウナゴ、コンブ、ホタテ、アワビ、タコ、ウニ等

2) 対象核種

① 原子燃料サイクル施設

^{54}Mn 、 ^{60}Co 、 ^{106}Ru 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{144}Ce 、 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{90}Sr 、 ^{131}I 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 U

② 東通原子力発電所

^{54}Mn 、 ^{59}Fe 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^3H 、 ^{90}Sr 、 ^{131}I

各試料の対象核種は、「原子燃料サイクル施設に係る環境放射線等モニタリング基本計画」及び「東通原子力発電所に係る環境放射線モニタリング実施計画」による。

3) 預託実効線量の算出

成人を対象とし、対象試料中の放射性核種測定結果から式(7)及び式(8)により、食品等の種類ごと及び核種ごとに1年間の経口摂取又は吸入摂取による預託実効線量を算出し、それぞれを合算する。この際、測定結果から求めた核種濃度の食品等を1年間継続して摂取したこととする。

$$\text{預託実効線量(mSv)} = [\text{年間の核種摂取量(Bq)}] \times [\text{実効線量係数(mSv/Bq)}] \cdots \text{式(7)}$$

$$\begin{aligned} \text{年間の核種摂取量(Bq)} &= [\text{施設に起因する核種濃度(食品等の種類ごと)}] \\ &\quad \times [\text{食品等の1日の摂取量}] \times [\text{食品等の摂取日数}] \cdots \text{式(8)} \end{aligned}$$

食品等の1日の摂取量	: 別表1に示す。
食品等の摂取日数	: 原則として365日とする。
実効線量係数	: 別表2に示す。

4) 施設に起因する核種濃度算出方法

環境試料中の放射性核種濃度に施設寄与が認められた場合には、食品等の種類ごと(別表1)に次の①～⑦のとおり核種濃度を算出する。この際、「ND」は定量下限値として計算に用いる。

課題5

① 米、葉菜及び根菜・いも類における核種濃度

これらの食品等に該当する環境試料は、年1回採取していることから、食品等の種類ごとにそれぞれ最も高い測定値を核種濃度として用いる。

ただし、トリチウムについては⑥、炭素-14については⑦のとおりとする。

② 海水魚における核種濃度

海水魚に該当する環境試料は、年1回採取していることから、最も高い測定値を核種濃度として用いる。

ただし、トリチウムについては⑥のとおりとする。

- ③ 淡水魚、無脊椎動物（海水産）、無脊椎動物（淡水産）、海藻類及び牛肉における核種濃度
これらの食品等に該当する環境試料は、年1回採取していることから、食品等の種類ごとにそれぞれ最も高い測定値を核種濃度として用いる。
- ④ 牛乳における核種濃度
牛乳は、年4回採取していることから、四半期ごとの全採取地点の最大値を年間で平均した値を核種濃度として用いる。
ただし、トリチウムについては⑥のとおりとする。
- ⑤ 飲料水及び空気における核種濃度
これらの環境試料は、週1回～年4回採取しており、基本的にその地域で摂取されることから、採取地点ごとに年間平均値を求め、それぞれ最も高い値を核種濃度として用いる。
ただし、トリチウムについては⑥のとおりとする。
- ⑥ 米、葉菜、根菜・いも類、海水魚、牛乳、飲料水及び空気中トリチウム濃度
これらの食品等のトリチウム濃度については、次のア及びイのとおり算出する。

ア 米、葉菜、根菜・いも類、海水魚及び牛乳

食品中トリチウムについては、式(9)を用いて核種濃度を算出する。食品中の水素の質量割合は自由水及び有機物を合計したものであり、実効線量係数は数値の大きい有機物の値を用いる。^{課題6}

米、葉菜、根菜・いも類及び牛乳については、大気中水蒸気状トリチウム濃度に施設寄与が認められた場合、これらの環境試料に移行することが考えられるため、環境試料中の自由水及び有機物のトリチウム比放射能が大気中水分の比放射能と等しくなるものと仮定して食品等の種類ごとに算出する。式(9)のトリチウム濃度は大気中水分のトリチウム測定結果から次のイで求めた年間平均値の最大値を用いる。^{課題7}

海水魚については、ヒラメ等の自由水トリチウムの最も高い測定値を式(9)のトリチウム濃度として用いる。食品中トリチウムの核種濃度は自由水と有機物のトリチウムを合わせたものであり、有機物のトリチウム比放射能が自由水に等しいと仮定して算出する。

$$\begin{aligned} & \text{食品中トリチウムの核種濃度 (Bq/kg)} \\ & = [\text{トリチウム濃度 (Bq/L)}] / [\text{水 1 L 当たりの水素量 (kg/L)}] \\ & \quad \times [\text{食品中の水素の質量割合}] \quad \dots \text{式(9)} \end{aligned}$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{水 1 L 当たりの水素量} \quad : 1 \times 2 / 18 = 0.11 \text{ (kg/L)} \\ \text{食品中の水素の質量割合} \quad : \text{別表 3 に示す。} \end{array} \right]$$

イ 飲料水及び空気

これらの環境試料については、採取地点ごとに年間平均値を求め、それぞれ最も高い値をトリチウム濃度として用いる。飲料水中ではほとんどのトリチウムが水の形で存在することから実効線量係数は水の値を用いる。また、空気中のトリチウムの化学形については、主に水、水素及び炭化水素が考えられるが、実効線量係数は最も大きい水の値を用いる。

大気中水蒸気状トリチウムの吸入摂取については、皮膚からの吸収分（呼吸による吸収分の0.5倍）を加算する。

⑦ 米、葉菜及び根菜・いも類中の炭素-14 濃度

炭素-14 については、放射能濃度に比べ比放射能に施設寄与がより明確に認められることから、比放射能の施設寄与分から式(10)により放射能濃度の施設寄与分を求める。食品等の種類ごとに求めた施設寄与分の放射能濃度の最大値を預託実効線量の算出に用いる。

$$\begin{aligned} \text{施設寄与分の炭素-14 濃度 (Bq/kg)} &= [\text{放射能濃度測定値 (Bq/kg 生)}] \\ &\times [\text{施設寄与分の比放射能/比放射能測定値}] \cdots \text{式(10)} \end{aligned}$$

5) 施設寄与分を見積もるためのバックグラウンドの差し引き

① セシウム-137、ストロンチウム-90、プルトニウム等

過去3年間のモニタリング結果に定量下限値以上の測定値がある環境試料については、対象施設からの寄与が認められない測定値の平均値をバックグラウンドとして差し引く。この際、定量下限値未満の測定値が含まれる場合は0(ゼロ)として取り扱うこととし、全ての測定値が定量下限値未満である環境試料及び核種についてはバックグラウンドの差し引きは行わない。

② 炭素-14

炭素-14 は、比放射能について施設寄与の弁別を行う。過去3年間の施設寄与が認められない測定値が得られる場合は、その平均値をバックグラウンドとして差し引く。これが難しい場合は、それ以前の施設寄与が認められない測定値を用いて求めた炭素-14 の減衰曲線から、当該年度の炭素-14 のバックグラウンドを推定し、これを差し引く。 課題8

3. 実効線量の表示方法

(1) 単位はミリシーベルト(mSv)とする。

(2) 外部被ばくによる実効線量、内部被ばくによる預託実効線量及びこれらを合計した実効線量は、小数第3位を四捨五入し小数第2位までの値を記載する。 課題9

ただし、外部被ばくによる実効線量の下限値及び内部被ばくによる預託実効線量の下限値を0.01mSv、合計した実効線量の下限値を0.02mSvとし、算出した実効線量が下限値未満の場合は下限値に「<」を付して記載する。 課題10

4. その他

本要領については、今後、必要に応じ適宜検討を加える。

別表1 食品等の1日の摂取量（成人）

食品等の種類	1日の摂取量	該当する環境試料
米	320 g	精米
葉 菜	370 g	ハクサイ、キャベツ、アブラナ
根 菜 ・ い も 類	230 g	ダイコン、ナガイモ、バレイシヨ
海 水 魚	200 g	ヒラメ、カレイ、アイナメ、ウスメバル、コウナゴ等
淡 水 魚	30 g	ワカサギ
無脊椎動物（海水産）	80 g	ホタテ、ヒラツメガニ、イカ、アワビ、タコ、ウニ等
無脊椎動物（淡水産）	10 g	シジミ
海 藻 類	40 g	コンブ等
牛 乳	0.25 ㍓	牛乳(原乳)
牛 肉	20 g	牛肉
飲 料 水	2.65 ㍓	水道水、井戸水
空 気	22.2 m ³	大気浮遊じん、大気

- ・「線量評価における食品等の摂取量について」（平成17年度第4回青森県原子力施設環境放射線等監視評価会議評価委員会（平成18年1月24日開催）提出資料）による。
- ・大気：水蒸気状トリチウムの場合は、ICRP Publication 71により、皮膚からの吸収分（呼吸による吸収分の0.5倍）を加算する。

別表2 1 Bq を経口又は吸入摂取した場合の成人の実効線量係数

(単位：mSv/Bq)

核種	経口摂取	吸入摂取	備考
^{54}Mn	7.1×10^{-7}	1.5×10^{-6}	
^{59}Fe	1.8×10^{-6}	4.0×10^{-6}	
^{58}Co	7.4×10^{-7}	2.1×10^{-6}	
^{60}Co	3.4×10^{-6}	3.1×10^{-5}	
^{106}Ru	7.0×10^{-6}	6.6×10^{-5}	
^{134}Cs	1.9×10^{-5}	9.1×10^{-6}	
^{137}Cs	1.3×10^{-5}	9.7×10^{-6}	
^{144}Ce	5.2×10^{-6}	5.3×10^{-5}	
^3H	1.8×10^{-8} (水)	1.8×10^{-8} (水)	飲料水及び空気
	4.2×10^{-8} (有機物)		米、葉菜、根菜・いも類、海水魚及び牛乳
^{14}C	5.8×10^{-7}		
^{90}Sr	2.8×10^{-5}	3.6×10^{-5}	
U	4.9×10^{-5}	9.4×10^{-3}	
$^{239+240}\text{Pu}$	2.5×10^{-4}	5.0×10^{-2}	
^{131}I	1.6×10^{-5}	1.5×10^{-5}	

- ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 及び $^{239+240}\text{Pu}$ の吸入摂取については、ICRP Publication 72 に示されているもののうち、タイプ M の値を用いた。
- U の経口摂取及び吸入摂取については、ICRP Publication 72 に示されている ^{234}U 、 ^{235}U 、 ^{238}U のうち、最も大きな値を用いた。
- 上記以外の値は「環境放射線モニタリング指針（平成20年3月 原子力安全委員会）」による。
- ただし、分析方法等から化学形等が明らかな場合には、原則として ICRP Publication 72 などから当該化学形等に相当する実効線量係数を使用する。

別表3 食品等の水素の質量割合

食品等の種類	該当する環境試料	水素の質量割合
米	精米	0.066
葉菜	ハクサイ、キャベツ、アブラナ	0.11
根菜・いも類	ダイコン、ナガイモ、バレイショ	0.10
海水魚	ヒラメ等	0.10
牛乳	牛乳(原乳)	0.11

- 水素の質量割合は、「再処理事業所 再処理事業変更許可申請書及びその添付書類」（平成 17 年 9 月 29 日許可）から引用した。ただし、海水魚については、調査研究事業で実施したヒラメの組織自由水量と燃焼水量の実測値から算出した 20 検体分（平成 22 年度～平成 26 年度）の平均値を用いた。