

(別添)

## 食品中の放射性セシウムスクリーニング法

## 1. 放射性セシウムスクリーニング法

東京電力株式会社福島第一原子力発電所における事故により、広範囲の食品に放射性物質が含まれる事態となっている。これに対処するため、原子力安全委員会により示された指標値を暫定規制値とし、検査法は「緊急時における食品の放射能測定マニュアル」(以下、緊急時マニュアルという) に準じて、モニタリングが行われることとされた。

緊急時マニュアルにおいては、放射性セシウムの測定法として、ゲルマニウム半導体を用いたガンマ線スペクトロメトリーによる核種分析法が規定されているが、本法に用いる機器の数が限られていること、必要とする試料量が比較的多いこと等、多数の試料を効率よく検査する手段は限られている。この状況を踏まえ、放射性セシウム濃度が暫定規制値よりも確実に低い検体を判別するためのスクリーニング法を策定した。

今回、食品安全委員会における放射性物質の食品健康影響評価を受け、厚生労働省薬事・食品衛生審議会の答申を受け、食品衛生法(昭和22年法律第233号)の規格基準として、平成24年4月1日より施行されることとなった。これを受けて、一般食品の基準値である100Bq/kgに適応できるようスクリーニング法の見直しを行った。

なお、スクリーニング法として採用できる分析機器は特に規定しないが、以下に示す性能要件を満たすものとする。また、スクリーニングの結果がスクリーニングレベル以下とならず、放射性セシウムが基準値よりも確実に低いと判断できない検体は、ゲルマニウム半導体を用いたガンマ線スペクトロメトリー等による試験法を用いて検査結果を確定するものとする。

また、2. にスクリーニング分析法例としてNaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータによる方法を示す。これ以外の方法であっても、分析方法に示された性能を有していれば使用することは可能である。

なお、参考として、食品中の放射性セシウムスクリーニング法及び測定下限値の考え方を添付するので、スクリーニング法を行う際には併せて確認されたい。

1 分析対象 放射性セシウム (Cs-134 及び Cs-137)

2 対象食品 一般食品

3 分析方法 以下に示す性能を有する方法とする。

バックグラウンド値 下記の測定下限値を担保できる値であること。

バックグラウンド値は試料と同じ容器に同量の水をいれたものとする。ただし、遮蔽が十分な場合はブランク状態(なにも入れない状態)の測定値をバックグラウンドとしてもよい。

測定下限値 25 Bq/kg (基準値の1/4) 以下であること。25 Bq/kg において、

下式が成立することを確認する。

$$n_{s25} - n_b > 3 \sqrt{\frac{N_{s25}}{t_s^2} + \frac{N_b}{t_b^2}}$$

$N_{s25}$  : 25 Bq/kg の計数値

$N_b$  : バックグラウンドの計数値

$n_{s25}$  : 25 Bq/kg の計数率 cps

$n_b$  : バックグラウンドの計数率 cps

$t_s, t_b$  : 試料およびバックグラウンドの計数時間 s

真度 (校正) 適切な標準線源を用いて計数効率が校正されていること。

校正は1年に1回以上実施すること。

スクリーニングレベル 基準値の1/2以上とすること。

スクリーニングレベルにおける測定値の99%区間上限が  
基準値レベルで得られる測定値以下であること。

#### 4 検査結果の信頼性管理

- 1) 測定日毎にバックグラウンドを測定し、測定下限値が高くなっていないことを確認する。
- 2) 測定日毎にブランクを測定し、分析系に放射性表面汚染がないことを確認する。
- 3) 測定日毎に標準線源あるいは濃度既知の試料を測定し、真度が変化していないことを確認する。
- 4) 測定日毎にエネルギー校正を実施する。
- 5) 測定場所の空間線量の変動はバックグラウンドに影響を与え、温度の変化及び印可電圧の変動はエネルギー校正結果に影響を与えるので、校正を行った測定環境を維持するように注意する。測定場所の移動等により上記条件が変動した場合は、エネルギー校正を行い、標準線源を測定して、真度を確認する。
- 6) 試料を測定容器に詰める際には、特に検出器付近に空隙ができないように留意する。
- 7) 試料による分析系の放射性表面汚染、あるいは試料間の汚染が起らないように留意する。特に検出部位の汚染を防ぐため、検出器をポリエチレン袋で覆う、測定容器の外側に試料を付着させない等の措置を講じる。
- 8) 試料の取り違えを防止するための措置を講じる。

#### 5 検査結果の記載

スクリーニング法は、放射性セシウム濃度がスクリーニングレベル以下である食品を、基準値以下と判定できるような性能要件を設定したものであり、精確な測定値を得ることを

目的としていない。従って、スクリーニング法により得られた検査結果については、上記内容を踏まえ、以下の内容を記載する。

①測定に使用した機器の種類（例：NaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータ）

②検査結果について

- ・測定下限値未満である場合は、「測定下限値未満 (<25)」とする（25Bq/kg が測定下限値である場合）。
- ・測定下限値以上スクリーニングレベル以下である場合は、参考値として測定値を記載する。
- ・スクリーニングレベルより大きい場合は、ゲルマニウム半導体を用いたガンマ線スペクトロメトリー等による試験法により検査結果を確定する。

## 2. 食品中の放射性セシウムスクリーニング法例示

現在、広く普及しており、スクリーニング法として使用可能と考えられる、NaI(Tl) シンチレーションスペクトロメータによる方法を、例示として示す。性能の求め方及び分析上留意すべき点も記載する。他の方法であっても、1.放射性セシウムスクリーニング法に示された条件を満たせば、スクリーニング法として使用できる。

### 1 NaI(Tl) シンチレーションスペクトロメータ

NaI(Tl) シンチレーションスペクトロメータは、ヨウ化ナトリウム(NaI)を検出器とするガンマ線の波高分析装置である。NaI 結晶に $\gamma$ 線が照射されて発生する蛍光を測定することにより、核種分析が可能であるが、ゲルマニウム半導体検出器よりもエネルギー分解能は低い。しかし、計数効率が高く、また、検出器部分を液体窒素等で冷却する必要がなく維持管理が容易である。放射性セシウム測定を目的とする場合は、対応するエネルギーレベルの信号を選択的にカウントすることにより分析が可能である。

NaI 結晶サイズ、測定可能な試料量、測定容器、装置重量、遮蔽の程度の異なる装置が市販されている。また、測定の自動化、装置の可搬性等、装置により操作性も異なる。このため、利用できる試料量、分析時間、操作性等を考慮して、適した機種を選択する。

以下に、NaI(Tl) シンチレーションスペクトロメータを食品中の放射性セシウムのスクリーニング法として用いる場合の条件について記載する。

- 1) 測定エネルギー範囲：密封線源等を用いて、測定日毎に機器のエネルギー校正を定期的に行う。NaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータは、一般的に周囲温度や印加電圧の変化の影響を受けやすいため、エネルギー校正は一連の測定の都度行うのが望ましい。放射性セシウムのガンマ線に対応するエネルギー範囲を適切に設定し、他の核種の影響を最小に抑える必要がある。Cs-137 からは 662keV、Cs-134 からは 605、796keV など複数のガンマ線が放出されるので、これらを正しく計測できる範囲を、機器計数効率とバックグラウンドの計数を考慮して適切に設定する。エネルギー範囲を広くとれば放射性セシウムに由来するカウントは多くなる一方、バックグラウンド由来のカウント、他の核種からの影響も増加する。環境・試料中に存在する他の核種の状況が変わった場合には、エネルギー範囲の設定を再確認する必要がある。
- 2) 校正：原発事故から時間が経過したことにより、放射性ヨウ素 (I-131) は無視しうる程度に減少し、放射性セシウム (Cs-134 および Cs-137) が主たる核種となっている。検出された放射線全てを放射性セシウム由来と見なすと、分析結果に正のバイアスを生じるが、上述の理由でバイアスは小さく、またスクリーニング法としては正のバイアスは許容できる。逆に、他核種の影響を補正する場合には、精度の低下及び負のバイアスが生じる可能性があるため、注意が必要である。全てを放射性セ

シウムとみなす場合には、一般に Cs-134 の方が Cs-137 よりも計数効率が高いことから、Cs-137 単独核種で計数効率を算出すると正のバイアスを生じる。これはスクリーニング法の目的に適っているため、Cs-137 単独核種で校正を行うことが事実上有効である。Cs-134 と Cs-137 を用いて校正することも可能である。いずれの場合も、測定時期における Cs-134 および Cs-137 の比率などに留意し、放射性セシウム量を過小評価しないようにする。機器の校正は、機器メーカーからの情報によっても可能であるが、条件が異なれば計数効率も異なるため、校正核種、線源の形状等の計数効率算出時の条件も併せて入手する。

- 3) 測定下限値は、機器計数効率、測定時間の他、バックグラウンドに依存する。測定下限値を満足できるバックグラウンド条件が得られる測定環境を整えることが必須である。このためには、鉛等により測定試料・検出器を遮蔽し、環境からの影響を小さくする。測定下限値を満足できるバックグラウンド条件とならない場合は、スクリーニング法として使用できない。
- 4) バックグラウンド、温度の変動は、測定に影響を与えるため、校正を行った測定環境を維持するように注意する。条件が変動した場合は、エネルギー校正を行い、標準線源あるいは濃度既知の試料を測定して、真度を確認する。
- 5) 測定結果は、試料と検出器のジオメトリ（空間的位置関係）の影響を受けるため、機器計数効率の決定、バックグラウンドの評価、試料の測定には、可能な限り同一の測定容器を用い、検出器と測定容器の相対位置を固定して行う必要がある。測定容器を含めて出来る限り、機器計数効率を算出した条件と実試料の測定条件を揃え、特に検出器近くの条件（距離、材質）には注意を払うことが重要である。これらの条件が少しでも異なると補正が必要となることもある。

## 2. スクリーニング法としての性能の確認方法

### 測定下限値の確認

基準値が 100 Bq/kg である一般食品の場合を例として示す。この場合には、25 Bq/kg（測定下限値）の正味計数率が、これに伴う誤差の標準偏差  $\sigma$  の 3 倍より大きくなる条件で測定する。

正味計数率の誤差の標準偏差  $\sigma$  は次式より求められる。

$$\sigma = \sqrt{\frac{N_s}{t_s^2} + \frac{N_b}{t_b^2}} = \sqrt{\frac{n_s}{t_s} + \frac{n_b}{t_b}} \quad \text{式 1}$$

ただし、

$t_s, t_b$  : 試料およびバックグラウンドの計数時間 s

$N_s$  : 試料の計数値

$N_b$  : バックグラウンドの計数値

$n_s$  : 試料の計数率 cps

$n_b$  : バックグラウンドの計数率 cps

25 Bq/kg での正味計数率が、 $3\sigma$  より大きいとするので、

$$n_{s25} - n_b > 3 \sqrt{\frac{N_{s25}}{t_s^2} + \frac{N_b}{t_b^2}} \quad \text{式 2}$$

$N_{s25}$  : 25 Bq/kg の計数値

$N_b$  : バックグラウンドの計数値

$n_{s25}$  : 25 Bq/kg の計数率 cps

$n_b$  : バックグラウンドの計数率 cps

$t_s, t_b$  : 試料およびバックグラウンドの計数時間 s

を満たすような測定条件を設定する。左辺は正味計数率であり、試料量と機器の性能で決定されるので、式を成立させるためには、右辺のバックグラウンド計数値を低くする必要があるのである。

#### スクリーニングレベルの確認

スクリーニングレベル（基準値の 1/2 以上）の測定値の分布の 99% 上限が基準値で得られる測定値未満であることを確認する。測定値の分布の 99% 上限の求め方としては、以下の方法が考えられるが、統計的に正しい他の手法を用いても良い。

##### 1) 測定のくりかえしによる方法

スクリーニングレベルにおける測定をくり返し、測定値の平均と標準偏差から以下の式により 99% 上限を求める。測定は実際の試料測定と同じ条件で、測定の変動に影響する要因をできるかぎり含めて行う。くり返し数は 5 以上とする。バックグラウンドが低く抑えられ、測定下限値が確保されているならば、機器の製造者がスクリーニングレベルを機器性能として保証することが可能である。

$$\text{測定値の分布の 99\% 上限} = m + t_{k-1,0.01} \times s \quad \text{式 3}$$

$m$  測定値の平均値

$s$  測定値の標準偏差

$k$  測定数

$t_{k-1,0.01}$  自由度  $k-1$ 、片側危険率 1% の  $t$  値

## 2) 回帰直線の予測区間による方法

放射性セシウム濃度が 0-100 Bq/kg の範囲の試料を複数測定し、回帰直線の 99% 予測区間の上限を求める。

$$\text{回帰直線の予測区間の 99\% 上限} = m + \sqrt{V_e \left\{ 1 + \frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{S_{xx}} \right\}} \times t_{n-2,0.01} \quad \text{式 4}$$

$m$  回帰直線から予想される濃度  $x$  における測定値

$V_e$  回帰直線の誤差分散

$n$  回帰に使用したデータの数

$x$  放射性セシウム濃度

$\bar{x}$  回帰に用いた放射性セシウム濃度の平均

$S_{xx}$  回帰に用いた放射性セシウム濃度の平方和

## 計数率から放射能濃度への換算

正味計数率（測定試料とバックグラウンドの計数率の差）、機器換算係数、試料重量から計算する。

$$\frac{(n_s - n_b) \times K}{W} = C \quad \text{式 5}$$

$n_b$  : バックグラウンドの計数率 cps

$n_s$  : 試料の計数率 cps

$K$  : 機器換算係数 Bq /cps

$W$  : 試料の重量 kg

$C$  : 放射性セシウムの濃度 Bq/kg

スクリーニング法では、試料重量が一定であれば、計数率でも結果が判定できるので、計数率から放射能濃度への換算は必須ではない。

## 3. 測定方法例

### 3.1 エネルギー範囲の設定

Cs-137 の  $\gamma$  線は 662keV 1 本であり、Cs-134 の 605、796keV の間に位置するため、Cs-134 を用いてエネルギー範囲を設定する。2.1 の 1) に述べたように、エネルギー範囲を広くとれば放射性セシウムに由来するカウントは多くなる一方、バックグラウンド由来のカウントも増加する。正味計数に伴う誤差の標準偏差の正味計数に対する比は、540～830 keV 付近



のエネルギー範囲としたときに極小となるので、この付近で設定することが望ましい。

### 3.2 機器換算係数の決定

Cs-137 標準線源を用いて、設定したエネルギー範囲での機器換算係数を決定する。機器換算係数は、測定容器、ジオメトリに依存するので、これらを変更した場合には、再度決定する必要がある。

### 3.3 試料の測定

設定したエネルギー範囲で試料の計数率を求め、バックグラウンド計数率を差し引いた正味計数率を求める。試料中の放射性セシウム濃度は、2.2 に示した正味計数率から放射能濃度への換算式（式 5）を用いて求める。機器換算係数は Cs-137 標準線源を用いて決定されているため、Cs-134 からの計数率も Cs-137 として求められる。このため、得られた放射性セシウム濃度は実際の合計放射能よりもやや高いが、Cs-134 は Cs-137 よりも半減期が短いため、Cs-134 の Cs-137 に対する比率は徐々に低くなり、測定値は実際の放射能に近づく。

注

#### Cs-134 と Cs-137 の個別定量

試料に含まれる主な核種が Cs-134 及び Cs-137 に限定されている場合、それぞれの核種から放出される  $\gamma$  線を分離解析し、それぞれの核種の標準線源で校正すれば、Cs-134 及び Cs-137 を個別に定量することが可能である。しかし、基準値は 2 つの核種の合計として設定されていること、今後 Cs-134 が減少すること、スクリーニング法では正のバイアスを許容されていることから、個別定量する必要性はない。

なお、Cs-134 と Cs-137 の個別定量を行う場合には、結果の真度及び精度は、使用した解析のアルゴリズムに依存するので、混合標準線源あるいは濃度既知の試料等を用いて、解析結果に推定される変動範囲を超えた負のバイアスが生じないことを確認する必要がある。また、ピーク面積が、完全に分離されていない二重ピークのフィッティング解析やピーク対ベースライン比に依存しスクリーニングレベルが低下する可能性がある。ピーク面積の算出方法はソフトウェア開発者に確認する必要がある。

#### 他核種の影響の補正

食品試料中には K-40 が含まれていることがあり、コンプトン効果により測定範囲のカウントを増加させ、正のバイアスが生じる。スクリーニング法では正のバイアスを許容しているので、これを補正する必要はない。補正を行う場合は、測定下限値の確認と、補正が過大となり負のバイアスを生じないことの確認が必要であるので、ソフトウェア開発者に確認する。

#### 4. 適用できる食品

食品により測定容器に充填できる量が異なり、これにより測定下限値も変化する。一般に  $n_{s25}$  は水等の比重が 1 に近い状態で求められる。測定しようとしている食品の容器への充填量と水の充填量の比（充填率）を  $\rho$  とすると、正味計数率  $n_{s25} - n_b$  が  $(n_{s25} - n_b) \times \rho$  に変わり

$$(n_{s25} - n_b) \times \rho > 3 \sqrt{\frac{(n_{s25} - n_b) \times \rho + n_b}{t_s} + \frac{n_b}{t_b}} \quad \text{式 6}$$

が成立している必要がある。このため、あらかじめ式 6 が成立する  $\rho$  の範囲を求めておき、充填率が式 6 が成立する範囲にある場合にスクリーニング法を適用することができる。同様に、スクリーニングレベルの確認も充填率を考慮する。

一般的な  $\rho$  の範囲は、魚、肉、卵は概ね 1 であるが脂肪が多いとやや小さくなる。果実、トマト等の実物野菜及び根菜は 1 付近となるが、栗は 0.8 程度である。葉物野菜は充填方法により詰められる量が大幅に変化するので注意を要する。米・麦等の穀類は 0.85 以上である。 $\rho$  が 0.5 以下となる乾燥品などの食品は、スクリーニング法の適用が可能かどうかは試験毎に確認すべきである。

参考：

科学技術庁 放射能測定法シリーズ No.6 NaI (TI) シンチレーションスペクトロメータ機器分析法 1974 年

緊急時における食品の放射能測定マニュアルに基づく食品中の放射能の簡易分析について  
(情報提供 続報) <http://www.jriias.or.jp/index.cfm/6,15496,110,html>

(参考)

## 食品中の放射性セシウムスクリーニング法の考え方

本事務連絡により示された「食品中の放射性セシウムスクリーニング法」に関しては、食品に関わる検査において、「スクリーニング法」が明確に示された初めての検査方法であり、さらに放射性物質の検査方法も多くの検査者になじみがないものであると考えられる。そこで、スクリーニング法による検査の考え方を解説する。

### 1. スクリーニング法

検査の目的は、食品衛生法で規制された食品を流通させないことである。従って検査の性能は、規格に適合している対象（食品）を合格とする確率と、規格に適合していない対象を不合格とする確率により評価される。両者の確率が高ければその検査の性能は高いと言える。図1には、理想的な検査と現実の検査の性能を、OC 曲線として示した。横軸は規制対象（ここでは放射性セシウム）の試料中濃度、縦軸はその試料の合格率を示している。点線で示した理想的な検査では、放射性セシウム濃度が基準値である 100 Bq/kg を少しでも超過した食品は不合格となり、100 Bq/kg より少しでも低い食品は合格となる。検査では、放射性セシウム濃度の測定値に基づいて合否が判定される。測定値には不確かさが伴っており、同一試料であっても測定結果が変動するため、実際の検査性能は実線で示したような曲線となる。基準値付近での曲線の傾きは、測定の精度によって変化し、精度が良いほど傾きは大きくなる。

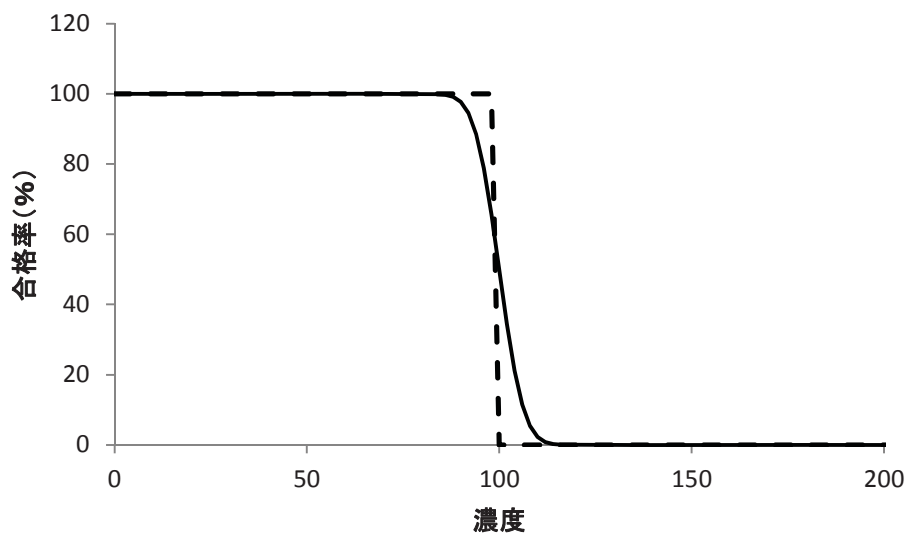


図1 検査の OC 曲線

精度が低いあるいは測定結果の不確かさが大きい測定に基づく検査の性能を、図2に示す。この検査では、放射性セシウム濃度が 110 Bq/kg でも 25%が合格し、80 Bq/kg でも 10%は不合格となるため、検査としての性能が低い。一方、規格に適合している食品を合

格とする性能の観点から評価すれば、濃度が 50 Bq/kg の食品には、必ず<100 Bq/kg の結果を与えるため、50 Bq/kg 以下の食品を 100%合格とする性能がある。従って、この検査により 50 Bq/kg 以下の結果を与えた試料を合格とすることが可能である。

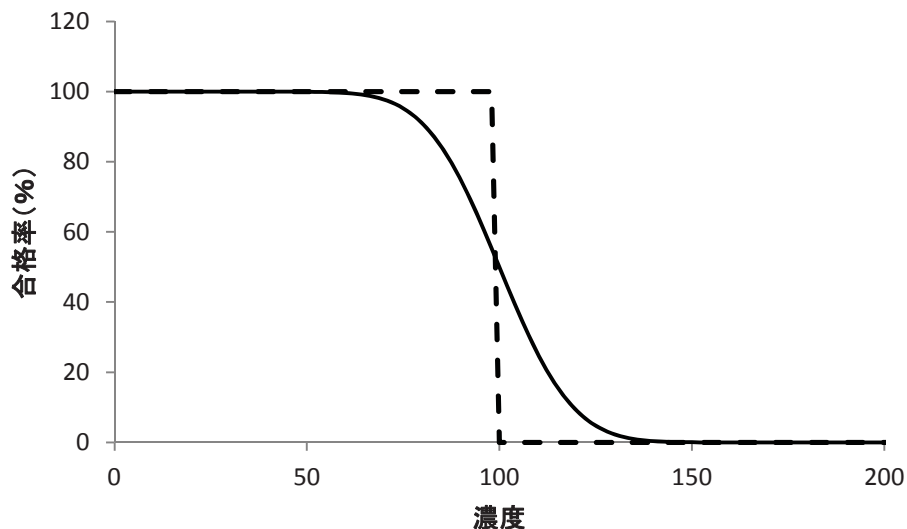


図2 精度が劣る測定に基づく検査性能

スクリーニング検査に求められる性能は、放射性セシウム濃度がある濃度以下である食品を、ほぼ 100%の確率で基準値以下と判定できることである。この検査方法で合格とされた食品は、そのまま合格とすることが可能である。この概念に基づいて、事務連絡では「放射性セシウム濃度が基準値よりも確実に低い検体を判別するためのスクリーニング法」としている。一方、スクリーニングレベルを超えてセシウムを含む食品の判定性能は低いいため、確定できる検査を実施して判定する必要がある。

スクリーニング法を実施する場合には、基準値より確実に低いと判定できるレベル（スクリーニングレベル）が高ければ、スクリーニングされる試料の割合が大きくなり、スクリーニング法により検査の効率が高くなる。図 3 は精度が非常に低い測定に基づく検査の性能を示している。このような方法では、スクリーニングされる試料の割合は低く、検査の効率は向上しない。

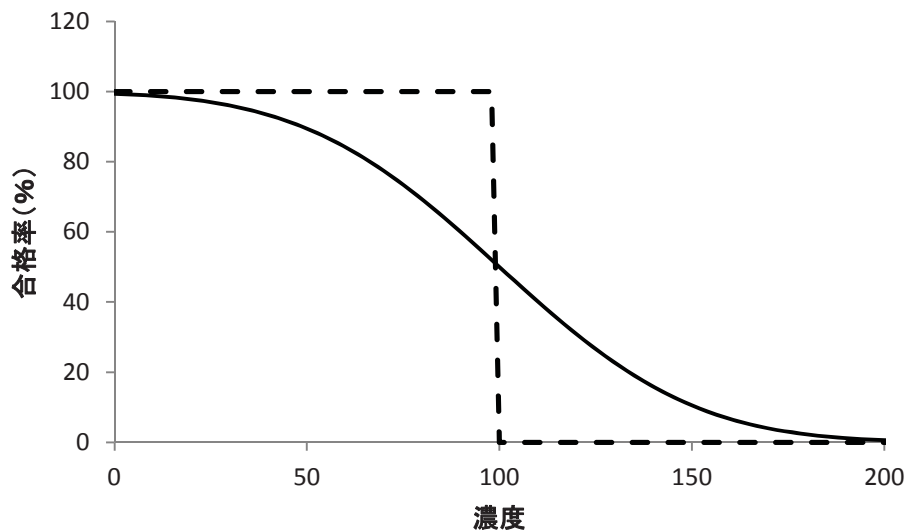


図3 非常に精度が劣る測定に基づく検査性能

精度ではなく、真度が不適切な測定であってもスクリーニング検査のための方法として使用することが可能な場合がある。図4は、正のバイアスを持つ測定に基づく検査である。常に実際の濃度よりも高い結果が得られるため、基準値レベルでの合格率が低くなり、通常の検査には使用できない。しかし、濃度が  $60 \text{ Bq/kg}$  の時には、必ず  $< 100 \text{ Bq/kg}$  の結果を与えるので、 $60 \text{ Bq/kg}$  以下のものを  $100\%$ 合格とする性能があるといえる。従って、この測定に基づくスクリーニング検査は可能である。

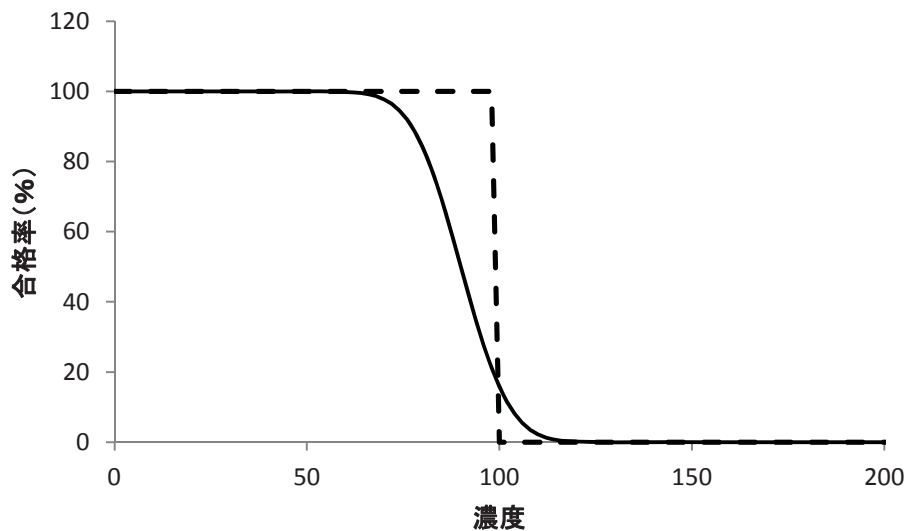


図4 正のバイアスを持つ測定による検査性能

ここまでの議論では、スクリーニング検査の性能をスクリーニングレベルで定義した。スクリーニングレベルが適正であれば、スクリーニング法とはなるが、これは簡易検査法を意味しているわけではない。簡易検査法は操作が簡便であるとか高額機器を使用しないといった、測定法の性質から定義されるが、その精度あるいはスクリーニングレベルは不明であるので、スクリーニング法として採用できるとは限らない。簡易な方法をスクリーニング法として採用するためには、スクリーニングレベルの確認が必要である。

## 2. 性能要件

上記のようにスクリーニング法としては、適切なスクリーニングレベルを持っていることが、必要条件である。スクリーニングレベルの決め方は、そのレベルでの測定値（例示した NaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータでは計数率あるいは試料中放射性セシウム濃度）の分布の 99%上限が、基準値レベルの測定値以下となるレベルとしている。測定容器への充填率により試料重量が低下する場合には、充填率の測定下限値及び濃度への影響を考慮する必要がある。

機器計数効率が変化した場合、スクリーニングレベルも変動するので、適切な線源での校正を行うことも重要である。

現在の日本では、環境放射線のレベルが一定ではなく、レベルが非常に高い場所が存在する。環境放射線は測定機器で正の信号として測定され、また一定ではなく変動する可能性が高い。このため、測定の精度を低下させる大きな要因となる。このため、バックグラウンド値とそこから求められる測定下限値を、スクリーニング法としての性能に追加した。

スクリーニングレベルは測定法の精度に関連している。放射線測定結果をばらつかせ、精度を低下させる要因としては、計数値及びジオメトリの変動が考えられる。放射線測定の計数値はポアソン分布に従っており、計数値が  $N$  であればその標準偏差は  $\sqrt{N}$  である。正味計数率は計数率からバックグラウンド計数率を差し引いて求められるため、バックグラウンド計数に伴う標準偏差も影響する。また、試料と検出部分のジオメトリが変化すると機器計数効率が変化するため、ジオメトリが一定でない測定の精度は、さらに低下する。

測定結果の変動の程度は、バックグラウンドが十分に小さければ、測定装置、測定容器、検出部と測定容器の位置の変動の程度から決まる。従って、測定時のバックグラウンドが十分に小さく管理されるという条件のもとで、機器製造者がスクリーニングレベルを機器の性能として示すことが可能である。機器製造者推奨の計測時間と測定容器を用い、適切に測定を行うならば、機器製造者の示した値をもって、スクリーニングレベルを保証することができる。しかし、機器製造者推奨以外の容器を使ったり、測定毎に測定容器と検出器の位置が変動するような測定を行う場合には、その測定系としてのスクリーニングレベルを別途確認する必要がある。

バックグラウンド並びに測定下限値は、機器の性能に加えて、測定環境に影響される。

$$n_{s25} - n_b > 3 \sqrt{\frac{n_{s25}}{t_s} + \frac{n_b}{t_b}} = 3 \sqrt{\frac{N_{s25}}{t_s^2} + \frac{N_b}{t_b^2}}$$

式7

において、バックグラウンドの計数率  $n_b$  は、左辺を小さく、右辺を大きくするように働くので、 $n_b$  が大きいとこの式を成立させることはできない。従って、 $n_b$  を小さくすることが最重要である。このためには、十分な遮蔽を施すことが考えられる。

## 測定下限値の考え方

NaI(Tl)による放射性セシウム濃度測定では、測定時間内に検出器に入射したガンマ線の数（計数値） $N$ が一次測定値となる。 $N$ はPoisson分布に従うとされ、その分散は $N$ 、標準偏差は $\sqrt{N}$ である。この性質から、放射性セシウム測定値に伴う、計数の標準偏差は繰り返し計測によらず、1回の測定結果から推定することができる。これが、通常の化学物質測定とは大きく異なる点である。

放射性物質濃度の測定では、計数値  $N_s$  から計数率  $n_s = N_s/t_s$  を求め、バックグラウンドの計数率  $n_b$  との差、正味計数率から放射性セシウム濃度  $C$  を算出する。

$n_s = \frac{N_s}{t_s}$  であり、 $n_s$  に伴う標準偏差は  $\sqrt{N_s/t_s^2}$  となる。測定により等しい計数率  $n_s$  が

得られたとしても、計数値  $N$  と測定時間  $t_s$  によりその標準偏差は異なる。また、計数率の標準偏差の計数率に対する比は

$$\frac{\sqrt{N_s/t_s^2}}{N_s/t_s} = \frac{1}{\sqrt{N_s}}$$

式8

であり、計数率  $n_s$  の相対標準偏差は、計数値が大きくなると共に小さくなる。正味計数率

$n_s - n_b$  に伴う標準偏差  $\sigma$  は  $n_s$  に伴う標準偏差  $\sqrt{N_s/t_s^2}$  とバックグラウンド計数率  $n_b$  に伴

う標準偏差  $\sqrt{N_b/t_b^2}$  の2乗の和の平方根  $\sqrt{N_s/t_s^2 + N_b/t_b^2}$  となる。

測定下限値の評価では、基準値の1/4の濃度において、正味計数率が  $\sigma$  の3倍となることを求めている。化学分析ではブランク測定値の標準偏差は検出限界付近の濃度の測定においても同じと見なし、ブランク標準偏差の3倍を検出限界とする定義がある。この場合には、測定結果はその標準偏差の3倍となる。測定下限値における、正味計数率はその標準偏差の3倍以上となるが、標準偏差  $\sigma$  をブランク測定値から求めず、試料とバックグラウンドの計数から求めている点が異なる。

スクリーニングレベルにおける  $\sigma$  も、式7の右辺に、25の代わりに50の値を代入することにより推定することが可能である。このように求めた  $\sigma$  を式3の  $s$  としてスクリーニングレベルにおける測定値の99%上限を計算する。例えば、ガウス分布の場合は  $t$  の代わりに2.33を用いる。ただし、この方法では計数統計の不確かさのみが考慮されるため、くりかえし測定した場合の式3における標準偏差  $s$  が1回測定から推定される標準偏差  $\sigma$  と比較し、異常に大きくないことが適用条件となる。