

から作られる加工品(惣菜、給食、菓子、調味料等も含む)、牛乳、乳製品、乳児用食品、飲料・飲料水が 8,900 程度含まれていた。

非流通品の基準値超過率の高い県は、山梨県、長野県、静岡県、群馬県、栃木県、福島県であった。静岡県・新潟県より西の県では基準値超過する試料はなかった。流通品において基準値超過試料があった県は、栃木県、茨城県、群馬県、千葉県、新潟県、宮城県であり、産地不明の試料も 1 あった。福島県の非流通品の基準値超過率は 1.1%であったが、流通品に基準値超過はなく、非流通品の管理が適切に行われていると考えられる。

#### 放射性セシウム濃度

Table 5 に、放射性セシウムが検出された試料中の濃度の統計量を示した。25 Bq/kg 以下となった試料の率が大きく、全体としての中央値、75%タイル値は 25 Bq/kg 以下あるいは 0 となってしまうために、検出された濃度が 25 Bq/kg を超えた試料のみの統計量を示している。

大部分が非流通品であるため、全体と非流通品の統計量はほぼ同じであった。全体の平均値は 132 Bq/kg、中央値は 48 Bq/kg であり、平均値が中央値の 2.5 倍程度になっていることから、濃度分布は非対称であり、低濃度側に偏った分布であると考えられる。流通品の平均値は 67 Bq/kg、中央値は 49 Bq/kg で、平均値は非流通品よりも小さいが、中央値は非流通品に近い値であった。平均値と中央値の差が非流通品よりも小さいことから、非対称性も小さいと考えられる。流通品の最高値は非流通品よりはるかに小さく、高濃度試料が少なく、分布の非対称性が小さいことがわかる。Fig.1 には流通品と非流通品の放射性セシウム濃度のヒストグラムを示す。これからも、非流通品における極端に高濃度の試料が、出荷前に検査することによって流通する

ことが抑止され、流通品の高濃度試料の率を低下させたと考えられる。

#### 食品カテゴリ

食品カテゴリは、農産物、水産物、畜産物、野生鳥獣肉、乳、乳児用食品、飲料水、加工品、その他とした。元のデータでは加工品となっているものの内、単一の食品を乾燥、冷凍、水煮のような簡単な加工をしたものは、農産物、水産物、畜産物に分類した。Table 1 に示したように、試料数は農産物(36,997)と水産物(23,953)が飛びぬけて多かった。次いで加工品、乳、畜産物、野生鳥獣肉、飲料水、乳児用食品の数が多かった。流通品では農産物の試料数が多く、次いで加工品であり、加工品の試料数は水産物よりも多かった。

非流通品で検出率が高い食品カテゴリは、野生鳥獣肉(57.8%)、水産物(4.4%)、農産物(4.0%)であった。流通品において検出率の高い食品カテゴリは農産物(0.6%)、水産物(0.17%)、畜産物(0.16%)で、非流通品で検出率の高い野生鳥獣肉からの検出は 0%であった。

Table 6 に放射性セシウム濃度が 25 Bq/kg を超える試料について、食品カテゴリ別に濃度の平均値、25%tile 値、中央値、75%tile 値、90%tile 値、95%tile 値、及び最大値を示した。すべてのパラメータは野生鳥獣肉で最も高くなった。

Table 7 に農産物の小分類ごとの試料数と検出数及び検出率を示す。試料数は根菜、山菜以外の野菜がもっとも多く、ついできのこ、果実が多かった。検出率は山菜が 13.7%でもっとも高く、ついできのこの検出率が 8.4%であった。山菜以外の野菜の検出率は 0.04%であった。豆からの検出率は 2.9%あり、山菜、きのこに次いで高い検出率であった。

穀類は 3,357 試料が検査され、コメの試料数は 2,044 であった。他はソバが 856、麦が 420 試料あり、コメが半数以上を占

めた。コメの非流通品数は 1,386、放射性セシウムが検出された非流通品のコメ試料数は 3 で、検出率は 0.2%、基準値超過試料数は 0 であった。最も高い濃度は 91 Bq/kg であった。流通品のコメで放射性セシウムが検出された試料はなかった。放射性セシウムが検出されたソバ試料は 1 試料のみであり、検出率は 0.1% であった。

豆類 2,666 試料中、放射性セシウムが検出された試料は 77 あり検出率は 2.9%、基準値超過試料数は 2 で、最高濃度は 110 Bq/kg であった。ダイズは 2,255、アズキは 346 試料あった。流通品のダイズ試料数は 65 で放射性セシウムが検出された試料はなかった。非流通品のダイズは 2,190 あり、放射性セシウムが検出された試料数は 74 であった。基準値である 100 Bq/kg を越えた豆類試料は 2 あったが、濃度は 110 Bq/kg であった。

野菜及び根菜類は 16,195 試料が検査された。非流通品が 9,739、流通品が 6,456 試料あった。放射性セシウムが検出された試料数は 6 で、非流通品が 3、流通品が 3 であった。野菜及び根菜からの放射性セシウム検出率は 0.04% で、穀類より低かった。

山菜には、タケノコ、ウド、コシアブラのような食品を含めた。試料数は 3,664 あったが、天然あるいは自生と明記された山菜の試料数は 1,381 であり、栽培品も含まれていると考えられる。非流通品が 3,356、流通品が 308 試料あり、通常野菜に比較して非流通品の割合が高かった。放射性セシウムが検出された試料数は 502 で、検出率は 13.7% であった。天然あるいは自生とされる山菜で放射性セシウムが検出された試料数は 195、検出率は 36% となった。非流通品の検出率は 14.5%、流通品の検出率は 5.5% で、流通品の検出率は全カテゴリ中最高であった。500 Bq/kg を超える試料が 6 あり、その最高濃度は 1,200 Bq/kg であっ

た。これら高濃度の放射性セシウムを含む試料はすべて非流通品で、コシアブラが 3 試料、ワラビ、タラの芽、ゼンマイがそれぞれ 1 試料あった。

きのこの試料数は 5,068 であり、非流通品が 4,249、流通品が 819 で、山菜と同じく、流通品の割合が少なかった。対象となったきのこは、シイタケ(2,985)、ナメコ(370)、マイタケ(245)、ナラタケ(214)、ヒラタケ(189)、エノキタケ(185)等で、シイタケが半数以上を占めた。きのこ全体の放射性セシウム検出率は 8.4%、非流通品の検出率は 9.1%、流通品の検出率は 4.8% であった。

原木を用いて栽培した試料は 2,021、天然あるいは野生とされる試料が 569 あり、両者で総数の半数近くとなった。原木栽培試料の検出数は 268、検出率は 13%、天然産試料の検出数は 100、検出率は 18% であった。これらを除いた試料数は 2478、検出数は 56、検出率は 2.2% であった。ただし、干ししいたけのような乾燥品が含まれており、水戻し状態への換算が行われていないデータの存在が疑われること、天然産あるいは原木栽培品の記載が厳密に守られているか不明のため、検出率の比較には注意が必要である。

基準値を超過した試料数は 43 あり、天然産が 31 試料、原木栽培品が 8 試料あった。濃度が 1,000 Bq/kg を超えた試料は、長野県産チャナメツムタケ 3 試料(1,500 Bq/kg、1,200 Bq/kg、1,200 Bq/kg)であった。長野産のチャナメツムタケは平成 25 年度にも高濃度の試料が見られた。基準値を超過した試料には、長野県、静岡県、新潟県のような福島第一原子力発電所から距離のある産地のものも含まれており、これらの県にも局地的汚染が残っていると考えられる。

果実の試料数は 4,436、非流通品が 3,181、流通品が 1,255 試料であった。対象となった主な食品は、リンゴ(529)、ナ

シ(371)、イチゴ(323)、カキ(297)、ブドウ(276)、ウメ(274)、モモ(241)、ユズ(211)、ベリー類(201)、クリ(186)であった。検出された試料数は107で、検出率は2.4%であった。基準値超過した試料数は7で、あんぽ柿3、干し柿4であった。すべて福島県産の非流通品で、乾燥加工されたことにより放射性セシウム濃度が上昇したと考えられる。生鮮果実では基準値超過は見られなかった。山菜・きのこ等とは異なり、天然産とされる果実試料は16と少なく、これらに放射性セシウムが検出されたものはなかった。

Table 8 に水産物の小分類ごとの試料数と検出数及び検出率を示す。試料数は海水魚がもっとも多く、ついで魚以外の魚介類、淡水魚の順であった。一方、検出率は淡水魚が16.2%でもっとも高く、海水魚が2.5%で、魚以外の魚介類の検出率は0.2%であった。

海水魚の試料数は17,015であり、非流通品が14,149、流通品が2,866であった。対象となった魚は、カレイ類(2,272)、タラ(1,668)、ヒラメ(1,231)、スズキ(753)、アイナメ(553)、ブリ(309)、エゾイソアイナメ(277)等であるが、魚の名称として地方的な呼称が書かれている場合もあり、上記の試料数は目安である。海水魚の検出試料数は431、検出率は2.5%であり、非流通品の検出率は3.0%、流通品の検出率は0.1%であった。

最も検査数の多いカレイ類では、104試料から放射性セシウムが検出され、検出率は4.6%、タラでは11試料から放射性セシウムが検出され、検出率は0.66%、ヒラメの検出率は1.7%、スズキは3.5%、アイナメは4.2%等であった。基準値を超過した試料数は51で、基準値超過率は0.3%であった。基準値超過試料はすべて非流通品であった。最も濃度が高かった試料は、クロダイ(510 Bq/kg)であった。

淡水魚の試料数は2,889あり、非流通

品が2,795、流通品が94であった。対象となった食品種は、イワナ(732)、ヤマメ(497)、ウグイ(410)、ウナギ(329)、アユ(283)、ワカサギ(189)等であった。淡水魚の放射性セシウム検出率は16%、非流通品の検出率は17%、流通品の検出率は1.1%で、いずれも海水魚よりも高かった。検査数の多いイワナの検出率は19%、ヤマメは15%、ウグイは3.2%であった。ワカサギは特に検出率が高く29%に達した。

基準値を超えた試料数は49あり、基準値超過率は1.7%で、これも海水魚よりも高かった。基準値を超えた試料は、イワナ、ヤマメが多く、最高濃度はイワナの740 Bq/kgであった。

魚以外の魚介類には、貝類、軟体動物、甲殻類が含まれる。試料数は3,310、検出数は7、検出率は0.2%で、魚類よりもかなり低かった。基準値超過した試料はなく、50 Bq/kgを超える放射性セシウムを含む試料はエビ、ザリガニ、タコであった。

海藻の試料数は732であり、非流通品が514、流通品が218であった。対象となった食品は、ワカメ(315)、ノリ(160)、コンブ(82)等で、乾燥品のような加工品も多く含まれた。海藻試料で放射性セシウムが検出されたのはメカブ2試料で、濃度は30 Bq/kg以下であった。

クジラ及びイルカが1試料ずつ検査された。ミンククジラは0.85 Bq/kg、イルカは<20 Bq/kgであった。

B. 方法でも述べたように、屠畜場における牛肉の検査データは肉類の解析から除いた。屠畜場の試料数は非常に多く、放射性セシウムの検出が無い場合、これを含めると他の食品カテゴリとの検出率比較が困難になるためである。畜産物には肉、卵及びハチミツが含まれる。Table 9 に畜産物の小分類ごとの試料数と検出数及び検出率を示した。試料数は肉がもっとも多く、ついで卵、ハチミツ

の順であった。肉と卵には放射性セシウムが検出された試料はなく、ハチミツの3試料のみから検出された。

一方、山林で捕獲された野生のイノシシやシカのような野生鳥獣の肉試料は1,403試料が検査され、その58%にあたる808試料から放射性セシウムが検出され、25%にあたる349試料が基準値を超過した。検出率、基準値超過率ともに通常の肉と比較して高いだけでなく、全カテゴリ中最も高い結果であった。野生鳥獣肉の流通品は少なく、検出・基準値超過試料はなかった。非流通品は1,000 Bq/kg以上の試料が29あり、最高は30,000 Bq/kgのイノシシ肉であった。

牛乳を含む乳製品試料数は4,433あり、非流通品が1,947、流通品が2,486で、流通品がやや多かった。牛乳は基準値が一般食品の1/2の50 Bq/kgであり、スクリーニングも認められていない。このため、測定を検出下限は10 Bq/kg以下に設定されている。このため、10 Bq/kg以上を検出としたが、検出された試料はなかった。

肉、卵、牛乳生産のために飼育されている、野生ではない通常の家畜、家禽は飼料が管理されており、放射性セシウムの摂取は低い状態にあると考えられる。

飲料に含まれる試料は868、非流通品試料数は180、流通品は688あったが、放射性セシウムが検出された試料はなかった。また、一般食品の1/10の10 Bq/kgの基準が適用される飲料水の試料数は399、茶の試料数は445であった。

放射性セシウムが2 Bq/kg以上検出された茶試料は9あり、検出率は0.4%であった。最高濃度は12 Bq/kgの抹茶であった。茶以外の飲料水（ミネラルウォーター等）399試料には2 Bq/kgを超えて検出されたものはなかった。水・茶以外の清涼飲料、の試料数は24で、6.3 Bq/kgが検出された試料が1つあったが、その試料の詳細は不明であった。

乳児用食品にも50 Bq/kgの基準値が適用される。乳児用食品の試料数は777あり、調製粉乳が193、飲料が142、他の食品（ベビーフード、菓子等）が442あった。検出試料数は0であった。

加工食品には、複数の材料から作られる惣菜等の加工品、給食、菓子、調味料等を含めた。加工食品の試料総数は8,158あり、放射性セシウムが検出された試料数は9、検出率は0.11%であった。検出試料はカワエビ加工品、梅干し、桑の葉粉末、凍み大根、大豆粕、こしあぶら塩漬、きのこ粉末3試料で、生鮮状態でも検出率の高い山菜、きのこ加工品、および乾燥食品であった。基準値を超過した試料は大豆粕ときのこ粉末であった。

試料全体の検出率は3.6%であるが、食品カテゴリ毎の検出率は様々であった。全体の検出率を大きく上回ったのは、野生鳥獣肉、山菜、きのこ、淡水魚であり、下回ったのは米を含む穀物、野菜、海藻、魚以外の魚介類、飼育されている鳥獣肉、卵、乳製品、飲料、乳児用食品、加工食品であった。

#### D. 考察

非流通食品には高濃度の試料が見られるものの、流通食品において100 Bq/kgを超える食品の割合は非常に低かった。緊急時モニタリングをはじめとする非流通品の検査により、高濃度の放射性セシウムを含む食品が、効果的に流通から排除されていると考えられる。

天然山菜、天然きのこ、淡水魚、野生鳥獣肉は、山林にその起源をもつ天然品であり、これらの食品では、事故により広がった放射性セシウムがそのまま存在する状態が継続していると考えられる。これらの食品における検出率及び基準値超過率は、他の食品カテゴリよりも高かった。この傾向は、平成23年度～25年度のデータでも明らかであった。環境中の放射性セシウムの食品への影響

と、基準値を超える食品の監視のためには、淡水魚、天然きのこ、山菜のような食品の測定を継続していくことが重要と考えられる。しかし、これらの食品の検査数は必ずしも大きくなく、放射性セシウム検査が効率的に行われているとは考えられない。食品中のセシウムの濃度・検出の実態を考慮し、自治体の検査計画を作成することが、食品の安全につながると考えられる。

これらの情報を基に、本研究の分担課題「流通食品中の放射性物質濃度の調査」では、全試料中きのこの割合は15%、山菜は6%、淡水魚は6%程度としている。一方、本研究課題で扱った全国の検査データでは、流通品試料中山菜は1%、きのこは3%、淡水魚は0.4%程度である。この結果、流通品における検出率、基準値超過率が両課題でかなり異なる値となった。産地での出荷前検査が機能を果たし、流通食品での検出率は低く抑えられているが、基準値を超える試料の流通を防ぐためには、放射性セシウム濃度の高くなりやすい食品カテゴリの流通品を重点的に検査することが重要である。

#### E. 研究発表

松田りえ子，堤智昭，鍋師裕美，植草義徳、蜂須賀暁子，手島玲子：都道府県等が実施した食品中の放射性物質検査結果の解析。

第51回全国衛生科学技術協議会年会  
(2014.11)

#### F. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得  
なし。
2. 実用新案登録  
なし
3. その他  
なし

Table 1 食品カテゴリ別の試料数

食品カテゴリ	試料数		
	非流通品	流通品	合計
農産物	26,602	10,395	36,997
水産物	20,347	3,606	23,953
畜産物	1,126	1,241	2,367
野生鳥獣肉	1,397	6	1,403
乳	1,947	2,486	4,433
乳児用食品	6	771	777
飲料水	180	688	868
加工品	1,226	6,932	8,158
その他	54	57	111
計	52,885	26,182	79,067

Table 2 食品カテゴリ別の検出数と検出率

食品カテゴリ	試料数			検出率(%)		
	非流通品	流通品	合計	非流通品	流通品	合計
農産物	1061	62	1,123	4.0	0.60	3.0
水産物	903	6	909	4.4	0.17	3.8
畜産物	1	2	3	0.1	0.16	0.1
野生鳥獣肉	808	0	808	57.8	0.00	57.6
加工品	5	4	9	0.4	0.06	0.1
計	2,778	74	2,852	5.3	0.28	3.6

Table 3 食品カテゴリ別の検出数と検出率

食品カテゴリ	試料数			基準値超過率(%)		
	非流通品	流通品	合計	非流通品	流通品	合計
農産物	105	9	114	0.39	0.09	0.31
水産物	100	0	100	0.49	0.00	0.42
野生鳥獣肉	349	0	349	24.98	0.00	24.88
計	554	9	563	1.05	0.03	0.71

Table 4 産地別の試料数、検出率、基準値超過率

産地	試料数			検出率(%)			基準値超過率(%)		
	非流通品	流通品	合計	非流通品	流通品	合計	非流通品	流通品	合計
北海道	568	967	1,535	0	0	0	0	0	0
青森県	1,454	1,220	2,674	0.21	0	0.11	0	0	0
秋田県	237	234	471	1.69	0.43	1.06	0.84	0	0.42
岩手県	17,254	768	18,022	0.89	0.26	0.87	0.07	0	0.07
山形県	891	325	1,216	2.13	0.00	1.56	0.11	0	0.08
宮城県	25,681	1,360	27,041	1.44	1.62	1.45	0.23	0.07	0.23
福島県	26,285	2,075	28,360	4.62	0.39	4.31	1.10	0	1.02
茨城県	4,067	1,626	5,693	5.04	1.05	3.90	0.15	0.18	0.16
栃木県	4,749	468	5,217	5.45	0.64	5.02	1.62	0.43	1.51
群馬県	2,891	971	3,862	8.16	0.82	6.32	2.08	0.10	1.58
埼玉県	896	393	1,289	1.79	0.25	1.32	0.11	0	0.08
千葉県	2,787	1,300	4,087	7.18	0.31	4.99	0.25	0.08	0.20
東京都	536	203	739	0.37	0.00	0.27	0.00	0	0
神奈川県	326	502	828	0.61	0.00	0.24	0.00	0	0
新潟県	1,211	1,310	2,521	2.73	0.08	1.35	0.41	0.08	0.24
長野県	509	735	1,244	7.27	0.14	3.05	3.14	0	1.29
山梨県	221	187	408	21.27	1.07	12.01	6.33	0	3.43
静岡県	163	430	593	7.98	0.23	2.36	3.07	0	0.84
岐阜県	190	15	205	0	0	0	0	0	0
愛知県	158	95	253	0	0	0	0	0	0
三重県	31	27	58	0	0	0	0	0	0
富山県	80	13	93	0	0	0	0	0	0
石川県	2	20	22	0	0	0	0	0	0
福井県	1	16	17	0	0	0	0	0	0
滋賀県	24	103	127	0	0	0	0	0	0
京都府	241	73	314	0	0	0	0	0	0
奈良県	23	63	86	0	0	0	0	0	0
大阪府	1	39	40	0	0	0	0	0	0
和歌山県	73	335	408	0	0	0	0	0	0
兵庫県	24	88	112	0	0	0	0	0	0
鳥取県	0	21	21	0	0	0	0	0	0
島根県	0	8	8	0	0	0	0	0	0
岡山県	0	11	11	0	0	0	0	0	0
広島県	0	7	7	0	0	0	0	0	0
香川県	0	23	23	0	0	0	0	0	0
徳島県	162	191	353	0	0	0	0	0	0
愛媛県	21	95	116	0	0	0	0	0	0
高知県	0	144	144	0	0	0	0	0	0
山口県	0	9	9	0	0	0	0	0	0
福岡県	0	25	25	0	0	0	0	0	0
大分県	0	19	19	0	0	0	0	0	0
佐賀県	0	34	34	0	0	0	0	0	0
長崎県	1	71	72	0	0	0	0	0	0
宮崎県	0	42	42	0	0	0	0	0	0
熊本県	0	59	59	0	0	0	0	0	0
鹿児島県	0	81	81	0	0	0	0	0	0
沖縄県	0	12	12	0	0	0	0	0	0
-	632	9,369	10,001	0	0.03	0.03	0	0.01	0.01

Table 5 放射性セシウムが検出された試料濃度の統計量

		流通品	非流通品	全体
平均値	Bq/kg	67	134	132
25%tile値	Bq/kg	32	34	34
中央値	Bq/kg	49	48	48
75%tile値	Bq/kg	77	86	86
90%tile値	Bq/kg	130	190	190
95%tile値	Bq/kg	190	330	320
最大値	Bq/kg	400	30000	30000

Table 6 放射性セシウムが検出された試料濃度の食品カテゴリ毎の統計量

		農産物	水産物	畜産物	野生鳥獣肉
平均値	Bq/kg	67	62	33	306
25%tile値	Bq/kg	31	34	27	47
中央値	Bq/kg	40	45	30	86
75%tile値	Bq/kg	61	71	35	190
90%tile値	Bq/kg	110	110	46	402
95%tile値	Bq/kg	200	150	48	766
最大値	Bq/kg	1500	740	58	30000

Table 7 農産物の試料数、検出数、検出率

食品カテゴリ	試料数			検出数			検出率(%)		
	非流通品	流通品	合計	非流通品	流通品	合計	非流通品	流通品	合計
穀類	1,270	43	1,313	2	0	2	0.2	0.0	0.2
穀類_米	1,386	658	2,044	3	0	3	0.2	0.0	0.1
豆	2,550	116	2,666	77	0	77	3.0	0.0	2.9
野菜	8,124	4,932	13,056	2	3	5	0.0	0.1	0.0
野菜_根菜	1,615	1,524	3,139	1	0	1	0.1	0.0	0.0
野菜_山菜	3,356	308	3,664	485	17	502	14.5	5.5	13.7
いも	871	740	1,611	1	1	2	0.1	0.1	0.1
きのこ	4,249	819	5,068	385	39	424	9.1	4.8	8.4
果実	3,181	1,255	4,436	105	2	107	3.3	0.2	2.4

Table 8 水産物の試料数、検出数、検出率

食品カテゴリ	試料数			検出数			検出率(%)		
	非流通品	流通品	合計	非流通品	流通品	合計	非流通品	流通品	合計
魚_海水魚	14,149	2,866	17,015	428	3	431	3.0	0.1	2.5
魚_淡水魚	2,795	94	2,889	468	1	469	16.7	1.1	16.2
魚卵	0	5	5	0	0	0		0.0	0.0
魚介類(魚以外)	2,888	422	3,310	7	0	7	0.2	0.0	0.2
海藻	514	218	732	0	2	2	0.0	0.9	0.3

Table 9 畜産物の試料数、検出数、検出率

食品カテゴリ	試料数			検出数			検出率(%)		
	非流通品	流通品	合計	非流通品	流通品	合計	非流通品	流通品	合計
肉	868	953	1,821	0	0	0	0.0	0.0	0.0
卵	205	257	462	0	0	0	0.0	0.0	0.0
ハチミツ	53	31	84	1	2	3	1.9	6.5	3.6

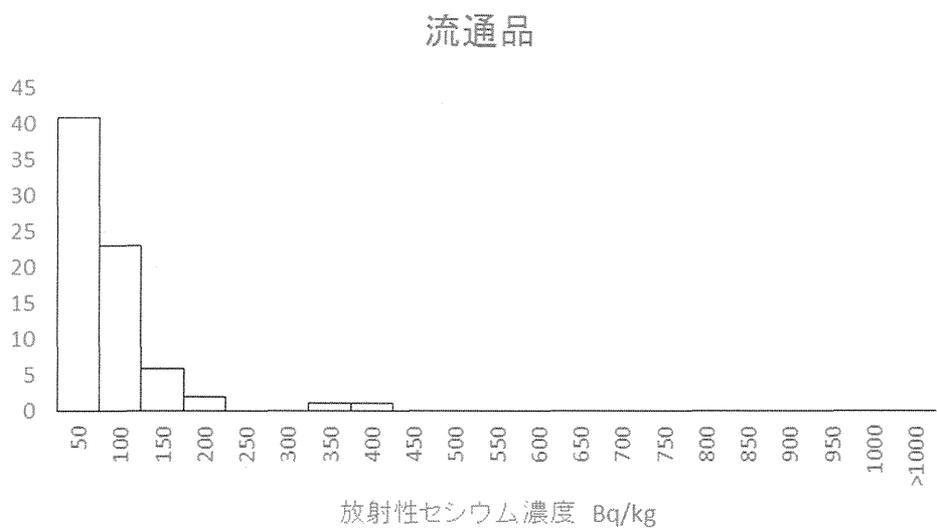
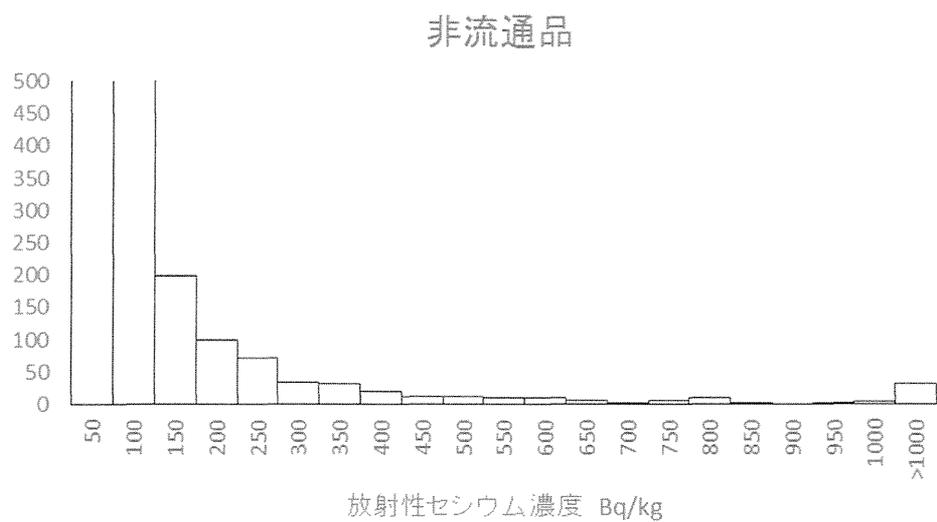


Fig.1 非流通品と非流通品の放射性セシウム濃度のヒストグラム

## Ⅱ. 分 担 研 究 報 告

食品中の放射性物質の検査に係る信頼性評価手法の検討

蜂須賀 暁子

平成 26 年度厚生労働科学研究費補助金 食品の安全確保推進研究事業

震災に起因する食品中の放射性物質ならびに有害化学物質の実態に関する研究  
分担研究報告書

食品中の放射性物質の検査に係る信頼性評価手法の検討

研究代表者 蜂須賀暁子 国立医薬品食品衛生研究所生化学部第一室長  
研究分担者 蜂須賀暁子 国立医薬品食品衛生研究所生化学部第一室長

研究要旨

法に基づいて行われる検査は、基本的にその結果によって何らかの行政措置が伴うものであるため、検査の分析値には一定の品質が要求される。分析値の品質保証においては、一般には不確かさの推定値がパラメータとして用いられる。食品衛生法に基づく食品中放射能検査では、計数の統計による不確かさ（計数誤差）のみが記載され、それにより評価することとされているが、食品検査にはこれ以外にも多くの要因があり、その中には放射能測定特有の要因も含まれる。そこで、昨年度は基本となる放射能測定のモデル式を示し、不確かさの要因を抽出した。本年度は抽出した不確かさの評価及び合成について検討を行った。また、現行の食品中放射能検査の精度において重要なパラメータであり、放射能測定に特異な事項である計数誤差の標準偏差について、一般科学機器分析と比較して検討を行った。その結果、不確かさの合成においては、試料の計数値及びピーク効率に起因する不確かさの寄与が大きいと予想された。また、放射能測定の計数誤差の標準偏差と、一般的な科学機器分析の測定のばらつきの標準偏差を混同し、検出限界における標準偏差を高濃度側で用いた場合は、精度の低下を招くことを示した。

放射能検査においても、他の検査と同様に、全操作の不確かさを推定すること、そして各操作及び要因の不確かさが最終結果に与える影響の程度を理解していることが、分析値の品質を保証する上で重要と考えられる。

研究協力者 曾我 慶介 国立医薬品食品衛生研究所生化学部

A. 研究目的

1. 目的

法に基づく検査は常に同じ分析結果が得られることが重要である。食品衛生法に基づく放射能検査では、その検査結果によっては、自治体単位の出荷制限、さらには摂取制限の措置がなされることから、検査の判定に用いられる放射能の分析値の品質は、一定水準以上にあること

が要求される。そのためには、まず検査の信頼性が評価されている必要がある。

一般には、分析値の品質の評価は、試験所・校正機関に対する要求事項を示した国際規格 ISO/IEC 17025 (General requirements for the competence of testing and calibration laboratories、試験所及び校正機関の能力に関する一般要求事項) を規範としている。この規格には、試験所・

校正機関が満たすべき管理上及び技術的要求事項が述べられている。技術的要求事項の中には、試験・校正の方法及び方法の妥当性確認が項目として挙げられており、その中に測定の不確かさの推定が記載されている。不確かさとは、GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement、計測における不確かさの表現のガイド) の定義によれば、「測定の結果に附随した、合理的に測定量に結び付けられ得る値のばらつきを特徴づけるパラメータ」である。実質上、『測定値』からどの程度のばらつきの範囲内に『真の値』があるかを示す、測定の結果に付随するパラメータ」と解釈されている。この不確かさの推定法として、GUM では、測定モデル式の作成、不確かさの要因の抽出、抽出された要因の評価、不確かさの合成と報告、が示されている。

食品中放射能の測定は、一般的な化学的な手法による食品中有害物質の測定とは原理が異なるため、放射能分析の不確かさを評価するにあたり、昨年度はモデル式を示し、不確かさの要因を抽出した。本年度はそれらの不確かさの要因の評価と合成について検討を行った。また、現行の食品中放射能検査の精度評価において重要なパラメータであり、放射能測定に特異な事項である計数誤差の標準偏差について、一般科学機器分析における測定の標準偏差と比較し、これらを混同した場合の検査制度への影響を検討した。

## B. 方法

放射能測定モデル式は、IAEA の放

射能測定に関する報告書 (Quantifying uncertainty in nuclear analytical measurements、IAEA-TECDOC -1401 July 2004、pp.103-126) を参考にした。なお、本報告書で扱う放射能測定は、特に断らない限り Ge 半導体検出器を用いた食品中放射性物質検査通知法 (食品中の放射性物質の試験法について 食安発0315第4号、平成24年3月15日) を指すものとする。

### 1) 測定モデル式

食品中放射能検査で求めるものは重量あたりの放射能濃度 (C: Bq/kg) である。しかし、放射能測定での基本は、校正に用いる標準体積線源の体積 (V: L) であるため、体積が含まれる式を先に示し、次に重量あたりに整理したモデル式を示す (式1)。

$$C = \frac{N_n}{\varepsilon \times \gamma \times t_s \times V \times m / V \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5}$$

$$= \frac{N_n}{\varepsilon \times \gamma \times t_s \times m \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5}$$

式1

C: 放射能濃度 (Bq/kg)

$N_n$ : 正味計数値 (カウント)

$\varepsilon$ : ピーク効率

V: 試料体積 (L)

$\gamma$ :  $\gamma$  線放出比

$t_s$ : 計数時間 (s)

m: 試料重量 (kg)

$K_1$ : 試料の採取から測定開始までの測定核種の減衰補正係数

$K_2$ : 測定中の測定核種の減衰補正係数

$K_3$ : 自己吸収補正係数

$K_4$  : 偶発同時計数補正係数

$K_5$  : カスケード  $\gamma$  線の同時計数補正係数

## C. 結果及び考察

### 1) 不確かさの要因

式 1 の各項目に起因する不確かさを各々  $u$  で表すと、放射能測定の不確かさは式 2 で表される。

$$u = (u_{Nn}^2 + u_{\varepsilon}^2 + u_{\gamma}^2 + u_t^2 + u_m^2 + u_{k1}^2 + u_{k2}^2 + u_{k3}^2 + u_{k4}^2 + u_{k5}^2)^{1/2}$$

式 2

各項目は以下のようになる。

$u_{Nn}$  : 試料の正味計数値に伴う不確かさ  
(計数面積 : 計数誤差)

この項目には、スペクトルピークの計数面積算定により計数誤差の標準偏差を有する要因と、試料の形状である幾何学的条件 (ジオメトリー) 及び試料の均質性に起因する要因があり、分けて評価する。

試料の放射能測定で得られる計数値 (計数面積) からバックグラウンド計数値 (計数面積) を差し引いた正味計数値に由来するものである。これら計数値における不確かさの根源的要因は、測定している原子核の壊変が非常に稀な確率事象であることに起因しており、計数の統計による不確かさ (計数誤差) と呼ばれ、 $\sqrt{N}$  で示される。

正味計数値  $N_n$  は、試料の全計数値  $N_s$  とバックグラウンドの計数値  $N_b$  の差から算出する。

$$N_n = N_s - N_b \quad \text{式 3}$$

$N_n$  : 正味計数値

$N_s$  : 試料の全計数値

$N_b$  : バックグラウンドの計数値

チャンネル幅  $n$  のピーク領域のバックグラウンド計数値は、ピーク領域を低エネルギー側と高エネルギー側に分けて考える。低エネルギー側はピーク領域前のチャンネル幅  $m_L$  の計数値  $N_L$  から、同様に高エネルギー側はピーク領域後のチャンネル幅  $m_H$  の計数値から、算出され次式のように表される。

$$N_b = N_L \times \frac{n}{2m_L} + N_H \times \frac{n}{2m_H} \quad \text{式 4}$$

$n$  : ピーク領域のチャンネル幅

$m_L$  : ピーク領域前の低エネルギー側バックグラウンド領域のチャンネル幅

$m_H$  : ピーク領域後の高エネルギー側バックグラウンド領域のチャンネル幅

$N_L$  : ピーク領域前の低エネルギー側バックグラウンド領域計数値

$N_H$  : ピーク領域後の低エネルギー側バックグラウンド領域計数値

$N_L$  : ピーク領域前の低エネルギー側バックグラウンド領域計数値

$N_H$  : ピーク領域後の低エネルギー側バックグラウンド領域計数値

$N_H$  : ピーク領域後の低エネルギー側バックグラウンド領域計数値

式 3 と式 4 より

$$N_n = N_s - N_b \\ = (N_n + N_b) - (N_L \times \frac{n}{2m_L} + N_H \times \frac{n}{2m_H}) \quad \text{式 5}$$

よって、式 5 の各項目の不確かさの二乗和を用いて、計数面積の不確かさは式 6 のように合成される。

$$u_{Nm} = \sqrt{N_n + N_b + N_L \times \left(\frac{n}{2m_L}\right)^2 + N_H \times \left(\frac{n}{2m_H}\right)^2}$$

$$= \sqrt{N_n + N_L \frac{n}{2m_L} + N_H \frac{n}{2m_H} + N_L \left(\frac{n}{2m_L}\right)^2 + N_H \left(\frac{n}{2m_H}\right)^2}$$

式 6

$m_L$  と  $m_H$  が等しく  $m$  である場合は、式 6 は以下のように簡略化される。

$$u_{Nm} = \sqrt{N_n + \frac{n}{2m} (N_L + N_H) \left(1 + \frac{n}{2m}\right)}$$

式 7

この式より、正味計数値の計数面積に伴う不確かさは、正味計数値  $N_n$ 、バックグラウンドの計数値  $\frac{n}{2m} (N_L + N_H)$  の増加により、増加することが読み取れる。ピーク領域のチャンネル幅  $n$  は小さく、ピーク領域前後のバックグラウンド領域のチャンネル幅  $m$  は大きい方が不確かさは小さくなるが、バックグラウンド領域のチャンネル幅を広くとり過ぎると他のピーク計数などバックグラウンド以外の要因が加わりやすくなるため、ピーク領域前後のスペクトル形状を確認し、通常は数チャンネルが用いられる。

仮に正味計数値  $N_n$  を 200、バックグラウンドの計数値  $\frac{n}{2m} (N_L + N_H)$  を 20、 $\frac{n}{2m}$  を 0.8 とすると、不確かさ  $u_{Nm}$  は 15.3 となり、相対標準不確かさは 7.7% となる。チャンネル数については同じ条件で、計数時間を 2 倍及び 0.5 倍にし、計数正味計数値及びバックグラウンド計数値を 2 倍及び 0.5 倍としたときの標準不確かさは各々 21.7 及び 10.8、相対標準不確かさは

5.4% 及び 10.9% になる。つまり、測定時間を長くして計数値を大きくすると相対標準不確かさは小さくなり、測定時間を短くして計数値を小さくすると相対標準不確かさは大きくなる。

$u_{Nm2}$  : 試料の正味計数値に伴う不確かさ (ジオメトリー、均質性)

計数値に影響するものとして、幾何学的条件 (ジオメトリー) 及び試料の均質性に起因する不確かさがある。

試料中の放射性物質から放出される放射線は、検出器の位置により検出される確率 (効率) が変化する。つまり、放射能測定では、放射性物質の存在位置と検出器との位置関係 (ジオメトリー) によってピーク効率が変化する。測定で得られる計数値は、標準体積線源から得たピーク効率を用いて放射能濃度に換算されるため、測定試料と標準体積線源の形状は同じにし、2 者間のピーク効率の差異を小さくするのが原則である。この試料形状の差異は、不確かさの因子となり、また、測定時の試料容器の置き位置もジオメトリーに関連するため、不確かさの一因となる。

試料の均質性は、放射性物質の測定容器内の存在位置がジオメトリーに關係するだけでなく、放射性物質以外の共存物質の存在も自己吸収に影響するため、その分布の偏りも測定物質の計数値に変動を与える。

充填高さなどの試料の形状、空壁も含めた試料の不均質性、検出器と試料容器の位置などによる相対不確かさは、試料

の充填のしやすさ、均質性の保ちやすさ、容器の形状などに依存するが、注意を払っても 1-2%は存在すると見積もられる。U-8 容器の試料高さによる不確かさについては平成 25 年度の報告書に記載したとおり、1mm の不確かさは 1~2%の相対不確かさを生じる。

$u_e$  : ピーク効率に伴う不確かさ

ピーク効率は、ピーク計数値と放出ガンマ線の数との比例定数であり、ピークエネルギーに依存する。通常、試料容器と同型同質の容器に、トレーサビリティが取れている濃度の核種が均一に分布している校正用標準体積線源を用いて、計数値を実測することにより求める。測定核種ごとに標準体積線源を用いて求める場合と、多核種由来のエネルギーが異なる複数ピークデータから光子エネルギーに対するピーク効率曲線をフィッティングにより求め、エネルギー間を補完し、測定核種のピークエネルギーの計数効率を求める場合がある。不確かさの因子としては、両者とも、使用した標準体積線源に起因する線源の放射能の不確かさ、その体積の不確かさ、並びにその測定に関する計数値の不確かさ、ガンマ線放出割合の不確かさ、各種補正の不確かさが挙げられる。後者のフィッティングを用いる方法では、フィッティングの不確かさも加わることになる。

ガンマ線の標準体積線源の不確かさは通常最低 2%以上であり、体積の不確かさも測定容器形状に依存して存在する。ピーク効率を算定するための標準体積線源測定の計数値の不確かさは通常 1%以

下となるように 10000 カウント以上を測定する。校正に使用される標準体積線源に含まれる核種はデータベースが整備されていることから、 $\gamma$  線放出割合、減衰補正に用いる半減期、同時計数補正などの不確かさは、通常、無視できる程度に小さいと予想される。

$u_v$  : 試料体積 (L) の不確かさ

試料容器に詰められた試料体積であり、通常は標準体積線源と同じである。U-8 容器などで高さに対するピーク効率曲線が求められている場合は、高さを測定することによって算出することができる。現在の食品検査の場合は、濃度は重量あたりで算出するため、式 1 から明らかなように、体積を比重により重量に換算を行うことから体積そのものは相殺される。従って、試料容量の不確かさは、直接重量濃度に影響しないが、ジオメトリーの変化による計数効率の変化により、間接的に放射能濃度に影響を与える。

$u_\gamma$  :  $\gamma$  線放出比に伴う不確かさ

測定核種の注目している  $\gamma$  線ピークの放出比に関する不確かさであり、Cs-134、Cs-137 においては物理学データが強固なため非常に小さいと予想される。

$u_t$  : 計数時間に伴う不確かさ

測定時間に関する不確かさであり、Cs-134、Cs-137 の検査では、数十分から 1 時間程度の測定時間が設定されていると思われることから、相対的に小さいと予想される。

$u_m$  : 試料重量に伴う不確かさ

食品中放射能検査においては、重量濃度で示されるため、試料重量測定に伴う不確かさであり、重量測定の不確かさと天秤の不確かさが含まれる。食品検査では、100 g から 2 kg 程度までの試料が用いられている場合が多いと考えられ、これらに起因する不確かさは相対的に小さいと予想される。

$u_{k1}$  : 試料の採取から測定開始までの測定核種の減衰補正係数に伴う不確かさ

$u_{k2}$  : 測定中の測定核種の減衰補正係数に伴う不確かさ

放射線測定は測定核種固有の半減期に従って減衰するため、測定採取時を起点に減衰補正をするのが一般的であり、試料採取から測定開始までの時間及び測定中の減衰補正が必要に応じて用いられる。半減期が年単位であり物理学データが確固としている Cs-134、Cs-137 の測定においては、これらに起因する不確かさは相対的に小さいと予想される。

$u_{k3}$  : 自己吸収補正係数に伴う不確かさ

放射能測定は、標準体積線源と試料との比較であるため、それらのマトリックス（元素組成）の差に対し補正係数が用いられる。測定光子エネルギーとマトリックス組成の遮へい能力が因子となる。Cs-134、Cs-137 の測定は、主に 605、796 及び 662 keV の透過性に優れた光子エネルギーが利用されていること、また、食品検体は、軽元素を主体としたマトリックスであり、乾物等特殊な測定試料以外は水、あるいは標準線源に用いられているアルミナ素材のマトリックスと自己吸

収において、大きな差異はない予想され、これらに付随する不確かさは相対的に小さいと考えられる。

$u_{k4}$  : 偶発同時計数補正係数に伴う不確かさ

偶発的に同時に複数の光子が検出器に入射し、検出された場合、合計エネルギーの光子として測定され、注目しているピークエネルギーの計数は減少するため、その補正に伴う不確かさである。補正係数は検出システムの分解時間と測定試料の平均計数率に依存し、計数率が小さい場合は 1 となる。計数率が小さい食品中の放射能検査においてはこの補正に伴う不確かさは通常無視できる程度に小さいと考えられる。

$u_{k5}$  : カスケード  $\gamma$  線の同時計数補正係数に伴う不確かさ

前項の偶発同時計数補正係数は、関連のない光子の合算に対する補正であり、一方、本項目は測定核種が連続して壊変し、複数の  $\gamma$  線を放出する場合に光子が合算されて計測される計数の損失についての補正である。よって、連続して壊変する核種において問題となるもので、Cs-137 は該当せず、Cs-134 が該当し、そのピーク効率をフィッティングから求めた場合は考慮する必要がある。しかし、Cs-134 であっても、Cs-134 の標準線源を用いてピーク効率を求めた場合は、補正の必要はない。食品検査では、Cs-134 のピーク効率をフィッティングから求めた場合のみ該当するが、Ge 半導体検出器に付属の市販解析ソフトを用いていれば、これに伴う不確かさは相対的に小さいと

予想される。

## 2) 相対合成標準不確かさ

式2の個々の不確かさをまとめると、一般的な食品試料で注意深く試料調製及び測定を行った場合、相対標準不確かさが1%以上を与える可能性のあるものは、試料の正味計数値及びピーク効率に伴う不確かさと予想される。各不確かさの要因と想定される相対標準不確かさ及びそれらから算出される相対合成標準不確かさ、相対拡張不確かさを表1に示す。

試料の正味計数値のピーク計数面積に伴う不確かさ(計数誤差)の寄与が大きいため、精度を上げるためには、この値を小さくすることが効果的である。そのためには測定時間を長くする、あるいは試料量を増やすなどが考えられるが、検査時間、試料量、作業量、経費などの検査効率は低下する。よって、検査効率と、これらと相反する検査に必要な精度を評価して、希望する精度を担保できる測定条件を設定する必要がある。

幾何学的条件であるジオメトリーに由来する不確かさは、試料位置は注意できる範囲では大きな因子とならないと考えられ、主に試料高さを想定した。昨年度の検討によれば、U-8 容器の高さ1mmの読取り誤差は計数値の相対誤差の1-2%に相当した。マリネリ容器2Lでは試料充填高さ付近の1mmは試料体積の1%に相当することを考慮すると、液体試料以外では、試料高さにより1%以上の不確かさを生じる可能性が高いと予想される。

試料の均質性に起因する不確かさは、

食品試料に大きく依存する。均質な液体試料では不確かさは小さくなるが、細切、すりおろしなどの前処理で均質性を保てない試料の場合は、ここで示した値より大きくなる可能性も考えられる。

ピーク効率に伴う不確かさでは、標準体積線源の放射能に伴う不確かさが、比較的大きくなった。この値は、使用している標準線源の校正証明書に記載されているものであり、核種にもよるが、最低2-3%の相対標準不確かさを有する。

ピーク効率算定時の標準体積線源のピーク計数面積に伴う不確かさ(計数誤差)では、通常10000カウント以上(相対標準不確かさ約1%)の測定を行うことから、その値を用いて評価した。

標準体積線源のジオメトリーに由来する不確かさは、試料の測定における条件と同レベルとして評価した。

ピーク効率曲線のフィッティングに伴う不確かさは、多核種混合標準体積線源を用いた場合に考慮されるものであり、使用する混合線源の核種の物理的パラメータ、放射エネルギー、コンプトン作用などによる核種間での測定干渉など、関与する条件が複雑であり、一義的に評価することはできない。同種の多核種標準線源を複数個用いて、繰り返し校正を行うことによりピーク効率曲線の不確かさを実験的に測定することは可能と考えられるが、汎用性はない。放射性セシウムなどの主な測定領域である600-800 keVにおいては、ピーク効率曲線は直線性を示し比較的安定していること、市販の9核種混合核種標準体積線源での各ピーク効率のフィッ

ティング曲線からの残差などから、約2%程度の不確かさを想定した。

これらを合成すると、正味計数値に伴う不確かさは5.2-10.4%、ピーク効率に伴う不確かさは3.5-3.9%、この2つの要因を合わせた相対合成標準不確かさは6.3-11.1%、それから導き出される相対拡張不確かさ(k=2)は12.5-22.2%となった。この表から明らかなように、試料のピーク計数面積に伴う不確かさ(計数誤差)の寄与が大きい。この値を小さくするには測定時間を長くする、あるいは試料量を増やすなどが考えられるが、検査時間、試料量、作業量、経費などの検査効率は低下する。よって、検査効率と、これらと相反する検査に必要な精度を評価して、希望する精度を担保できる測定条件を設定する必要がある。

### 3) 検出限界と定量下限

食品中の成分や有害物質の分析においては、分離過程である各種クロマトグラフィーと検出過程である吸光度など各種機器分析の組み合わせが多用されている。ここではこれらを総称して便宜上「HPLC 測定」と表記することにする。このHPLC 測定と放射能測定では、測定原理の違いに由来し、検出限界、定量限界の考え方、算定の方法が異なる。

一般化学測定においては、ブランク試料の測定値の標準偏差 $\sigma$ をもって定量限界を求めることがある。その中でもHPLC 測定においては、ブランク試料の測定値の代わりにノイズ・レベルを用いて標準偏差を算出することが一般的に行

われている。これは、測定値の標準偏差は測定条件が一定であれば試料濃度に依存しないことに基づいている。これが大きな特徴である。また、検出限界、定量下限には多種の考え方があるものの、この標準偏差 $\sigma$ の3倍をもって検出限界とし、10倍をもって定量下限とすることが汎用されている。この場合、測定値の標準偏差 $\sigma$ は濃度に依存しないことから、定量下限 $10\sigma$ を与える試料濃度は、検出限界 $3\sigma$ を与える濃度の3.3倍の関係が維持される。

一方、放射能測定においては、一般化学分析測定における標準偏差とは全く異なるばらつきに由来する標準偏差を用いて、検出限界を定めている。根本的な差異は、放射能測定の観察事象である核壊変が確率事象によることにあり、そのため、その観測値である計数値が、統計による不確かさ(計数誤差)を伴うことによる。すなわち、試料の放射能測定における計数値 $N$ 、計数率 $n$ とその計数誤差の標準偏差 $\sigma$ の関係は、以下のようになる。(式の詳細は事務連絡「食品中の放射性セシウムスクリーニング法の一部改正について、平成24年3月1日」参照)

$$\sigma = \sqrt{\frac{N_s}{t_s^2} + \frac{N_b}{t_b^2}} = \sqrt{\frac{n_s}{t_s} + \frac{n_b}{t_b}} \quad \text{式 8}$$

$N_s, n_s$  : 試料の計数および計数率

$\sigma$  : 試料の計数誤差の標準偏差

$N_b, n_b$  : バックグラウンドの計数値及び計数率

$t_s$  : 試料の測定時間

$t_b$  : バックグラウンドの測定時間

この式の表すところは、放射能測定の数値誤差の標準偏差は、試料及びバックグラウンドの計数率及びそれらの測定時間に依存するということである。試料及びバックグラウンドの測定時間が一定であっても、試料及びバックグラウンドの計数率の増加に伴い、計数誤差の標準偏差が増加することが示されている。また、食品中の放射性物質の測定で一般的に用いられている Ge 半導体検出器によるスペクトロメトリーでは、試料ごとにバックグラウンド計数値は異なるため、バックグラウンドの計数率と試料の計数率の間には定まった関係はなく、各々独立に動く。

試料の正味計数率  $n_n$  が計数誤差  $\sigma$  の  $k$  倍であるとき、試料の計数率は次式のように表される。

$$n_n = n_s - n_b = k\sigma \quad \text{式 9}$$

$n_n$  : 試料の正味計数率

式 8 及び式 9 を  $n_s$  について解くと式 10 が得られる。

$$n_s = \frac{k^2}{2t_s} + \frac{k}{2} \sqrt{\frac{k^2}{t_s^2} + 4n_b \left( \frac{1}{t_s} + \frac{1}{t_b} \right)} \quad \text{式 10}$$

放射能分析における検出限界にも、一般化学分析同様、分析の目的により多様な考え方があり、計数誤差  $\sigma$  を用いて  $1.645\sigma$ 、 $2\sigma$ 、 $3\sigma$ 、 $3.29\sigma$  など定義される。現在の食品検査においては  $3\sigma$  が採用さ

れている。放射能測定は、前述の HPLC 測定とは測定の原理そのものが異なるため、測定のばらつきの標準偏差の意味が異なる。そのため、放射能分析では検出限界という概念はあるが、定量限界という概念はなく、検出限界以上の濃度であれば、その計数誤差の標準偏差を併記して数値化するのが慣例である。なぜならば、HPLC 測定における測定の標準偏差と異なり、放射能測定の数値誤差による標準偏差は測定濃度に依存するだけでなく、測定毎に異なるバックグラウンド計数値も関与するからである。つまり、計数誤差の標準偏差は、例えば放射能濃度が同じでも試料ごとに異なる値をとる。そのため、濃度だけではそのばらつきを決定することができないため、測定の精度を表すためには、測定濃度とそのときの計数誤差を併記する必要がある。このことは、前述した HPLC 測定において、検出限界  $3\sigma$  の 3.3 倍が定量下限  $10\sigma$  になる関係が、放射能測定では全く維持されないことを示している。放射能測定では、定量下限の概念はないが、HPLC 測定との対比のために以下、 $3\sigma$  と  $10\sigma$  を与える濃度の比について記載する。

Ge 半導体検出器での測定を想定し、 $t_s = t_b$  とする。 $3\sigma$  となる計数率を  $n_3$ 、そのときのバックグラウンド計数率を  $n_{b3}$ 、そのときの計数時間を  $t$  とする。また、 $10\sigma$  となる計数率を  $n_{10}$ 、そのときのバックグラウンド計数率を  $n_{b10}$ 、そのときの計数時間も  $3\sigma$  のときと同じ  $t$  であると仮定する。式 10 の  $k$  に 3 および 10 を代入すると、以下ようになる。