

放射性セシウムの食品影響と測定法について

(独)農研機構 食品総合研究所
放射性物質影響 WG

はじめに

2011年3月11日に日本の観測史上最大のマグニチュード9.0を記録した東日本大震災により発生した地震と大津波によって、東京電力福島第一原子力発電所の原子炉や核燃料貯蔵プールの冷却機能が失われ、高レベル放射性物質が大量に外部環境に漏出するという、これまでに経験のない深刻な原子力事故が発生した。これをうけて、行政、農業生産者、食品産業界等の関係機関が放射性物質の食品影響に関しての緊急対応に取り組んでいる。食品総合研究所においても、今回の緊急事態を受け、3月25日から放射性物質影響WGを立ち上げ、緊急シンポジウム開催や文献情報の要約などの情報発信、さらには測定装置を導入しての研究・調査に取り組んでいる。

本講演では、測定法を中心に食品の放射性物質汚染に関する基礎的な解説を行う。

東京電力福島第一原発事故による放射性物質の食品への影響

原発事故による広範な地域環境への放射性物質漏出を受けて、3月17日には、厚生労働省が原子力安全委員会の示した指標値を食品衛生法上の暫定規制値(表1)とした。3月19日～22日にかけて農林水産省は原発近隣の複数県で生乳や野菜などから食品衛生法上の暫定規制値を超える放射能が検出されたと発表し、これを受け、政府は3月21日に一部地域・品目に関して食品の出荷制限の指示を出している。

表1. 飲食物摂取制限に関する指標(暫定規制値)

食安発0317第3号 平成23年3月17日より抜粋		
核 種	原子力施設等の防災対策に係る指針における摂取制限に関する指標値 (Bq/kg)	
放射性ヨウ素 (混合核種の 代表核種: ¹³¹ I)	飲料水	300
	牛乳・乳製品 注)	
	野菜類(根菜、芋類を除く。)	2,000
放射性セシウム	飲料水	200
	牛乳・乳製品	
	野菜類	500
	穀類	
	肉・卵・魚・その他	

注) 100 Bq/kgを超えるものは、乳児用調製粉乳及び直接飲用に供する乳に使用しないよう指導すること。

放射性ヨウ素(^{131}I)は、物理的半減期が8日と短いが甲状腺に蓄積するため、放射能汚染の短期的影響で重要な核種である(現在では、原発事故から210日以上を経過しているため、放射能は、当初の7千万分の1以下に減少している)。一方、放射性セシウム(^{134}Cs 、 ^{137}Cs)は、カリウムとほぼ同じ挙動を示し特定の臓器に蓄積し続けないが、物理的半減期

が年単位と長いため、今後の中・長期的影響で重要な核種である。¹³¹Iの暫定規制値を超える品目と件数は4月中旬以降激減したが、放射性セシウムの暫定規制値を超える品目と件数は、モニタリング数の増加とともに増加した。7月には、放射性セシウムに汚染された稲ワラが給与された牛の肉から暫定規制値を超過する放射性セシウムが検出された事例が各地で報告された。これを受けて、7月29日に厚生労働省は、関係県での全頭検査の迅速化と効率化を図るために、「牛肉中の放射性セシウムスクリーニング法」を定め、事務連絡として公表している。<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000001kg9.html>。(同改訂(9月7日):

<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000001p1mi-att/2r9852000001p1sb.pdf>)

また、平成23年10月4日には、上記のスクリーニング法を準用するかたちで、米及び麦類中の放射性セシウムスクリーニング法を追加した、「食品中の放射性セシウムスクリーニング法について」の事務連絡文書を通達している。

<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000001ql0l-att/2r9852000001ql29.pdf>

食総研の緊急対応

食総研では、放射能の基礎知識や食品への影響に関して、正確な情報を広く提供するため、いち早く3月22日に食総研ホームページ上に「東日本大震災に伴い発生した原子力発電所被害による食品への影響について」(http://nfri.naro.affrc.go.jp/topics/R_C.html)のページを開設し、随時更新している。その内容は、一般向けの基礎知識、官公庁の情報サイトへのリンク、および研究者・食品事業者等を対象とした日本語要約付きの関連文献リスト(155文献)である。3月25日には、放射性物質影響WGを設置し、公開情報の充実、研究体制の構築を図ると共に、緊急シンポジウム「放射性物質の食品影響と今後の対応」を企画し、4月18日につくば国際会議場で開催した。シンポジウムは、2名の専門家による講演とパネルディスカッションで構成され、参加者は1,049名と大盛況であった。講演要旨と、シンポジウムで寄せられた質問票を集約したQ&Aもホームページ上に公開している。

また、ゲルマニウム(Ge)半導体検出装置が6月17日に導入され、福島県との共同で小麦の製粉工程における放射性セシウムの動態解明の研究を行っている。さらに、緊急対応研究として、規制値(500 Bq/kg)を確実に下回る農産物をスクリーニングするNaI(Tl)シンチレーションサーベイメータを用いた簡易計測法の検証を実施した。

食品中の放射性物質濃度の測定法

(放射能と計数値、計数効率)

放射線(エックス線など)を出す能力を放射能と呼び、放射能をもつ物質を放射性物質と呼ぶ。放射能の強さを測る単位がベクレル(Bq)であり、1 Bqは1秒間に1個の原子核が崩壊し、放射線を出して別の原子に変わる(放射性壊変)頻度である。放射性物質の量すなわち放射能(Bq)と、放出される放射線の数には比例関係があるため、実際の放射能測定では、放射性物質から発生する放射線が、単位時間あたりに検出器に入射した数(計数率)に基づいて行われる。ただし、原子核が崩壊して放出される放射線の飛程はランダムであり、また、崩壊が起こる間隔も完全に一定では無い。ある体積の食品中に存在する放射性物質の1つの原子に着目すれば、それが崩壊した時に測定器の検出部に入射して計数されるか否かは、確率論的な計算に従うことになる。食品中の放射性物質(放射性原子)が、

ある体積中に均一に分布していたとしても、検出器から遠くにある原子核からの放射線は検出器に到達しにくく(検出効率が低く)、逆に検出器近くにある原子核からの放射線は検出器に届きやすい(検出効率が低い)等の差が発生する。したがって、計数率(cpsまたはcpm: cpsは1秒間の計数値であり、cpmは1分間の計数値)から一定体積の対象物の放射能(Bq)を求めるためには、測定する対象の3次元的な形状と、測定器の検出部との空間配置(ジオメトリ)を一定にした状態で、既知の放射能(Bq)に対する計数効率を求め、これに基づいた換算を行わなければならない(効率校正)。

(核種同定とγ線スペクトロメトリ)

今回の原発事故で食品への放射能汚染で問題となるのは、ヨウ素-131(¹³¹I)、セシウム-134(¹³⁴Cs)とセシウム-137(¹³⁷Cs)の3核種であり、γ線(電磁波の一種)を放出する。これらの放射性物質は核種ごとに特徴的なエネルギーのγ線を放出する(表2)。

表2. 食品中で測定対象となる主な放射性核種

核種	半減期	主な光子のエネルギー	γ線放出割合	その他のγ線(放出割合)
¹³¹ I	8.021 日	364.5 keV	0.817	284.3 keV(0.061)、637.0 keV(0.072)、他
¹³⁴ Cs	2.065 年	604.7 keV	0.976	569.3 keV(0.154)、801.9 keV(0.087) 他
		795.9 keV	0.855	
¹³⁷ Cs	30.17 年	661.7 keV	0.851	なし(単一ガンマ線)

(アイソトープ手帳 11 版)

そこで、放出されているγ線のエネルギー特性を知ることが出来れば、測定対象に含まれている放射性核種を同定することが出来る。

γ線の検出器としては、放射線の蛍光作用を利用したNaI(Tl)シンチレータや、固体の電離作用を利用したゲルマニウム(Ge)半導体検出器が用いられる。これらは、いずれも、マルチチャンネル波高分析器(MCA)と組み合わせて用いれば、チャンネルごとにγ線のエネルギーを割り当て、そのチャンネルごとに入射した放射線を計数することが出来る。このようにしてえられたγ線スペクトルから、核種別の放射能を測定することが可能である(γ線スペクトロメトリ)。

特にGe半導体検出器を用いるγ線スペクトロメトリによる放射能測定法は、エネルギー分解能が非常に高いためエネルギー決定の精度が高く、核種の同定が容易かつ確実であり、接近したエネルギーの他のγ線と明確に弁別して解析することが出来る。また、γ線ピークの広がりが狭いため、ピーク計数値に対するバックグラウンドの比率が低いので低レベル放射能の分析に適している。そのため、特に食品中の放射能の精密測定には、Ge半導体検出装置が用いられる。

NaI(Tl)シンチレータに代表されるようなシンチレーション検出器を用いたスペクトロメータ

を用いても、核種弁別と濃度測定が可能である。しかしながら、NaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータで得られる γ 線スペクトルは、Ge 半導体検出器のそれに比べて分解能が低く、ブロードなピークを与える。

食品中の放射性セシウムのスクリーニング

スクリーニングとは、指標値よりも確実に低い濃度の食品を判別することを意味し、厚生労働省が牛肉や米、麦について出した事務連絡では、規制値の 1/2 である 250 Bq/kg を確実に下回る食品を精密測定の対象から排除して検査効率を上げることを目的としている。スクリーニングレベルを超えた測定対象には、Ge 半導体検出器による精密測定による確認を実施することが前提として導入されている。

現時点では、①Ge 半導体検出器による γ 線スペクトロメトリの時間短縮、試料量変更による効率化、② NaI(Tl) シンチレーションスペクトロメータによる方法、③ NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータによる方法の 3 つが、該当食品について認められている。このうち、最も安価な検出器を用いるものとしては、③NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータによる方法があげられるが、その利用には留意する点も多い。

NaI(Tl)シンチレータを用いた可搬型の γ 線検出装置である NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータは、環境放射線(空間線量)の測定の目的で普及し利用されている。多くの NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータでは、MCA を持たず、あるエネルギー範囲(たとえば 50keV から 3MeV)にある γ 線について、エネルギーを弁別せずに検出する。一般的には、計数率方式であるが、一部には統計処理に有利な積算計数方式(タイマ付きカウンタ機能)を採用しているものもある。NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータでは、検出エネルギー範囲にある γ 線放出核種の全てを計数値に反映される。しかし、原発事故後七ヶ月経過した現在では、放射性ヨウ素はほとんど減衰し食品中に存在しないため、予め既知の放射性セシウム線源を用いて適切な効率校正をしておけば、NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータを用いた計数率や計数値から、食品中の放射性セシウム量(^{134}Cs と ^{137}Cs の総量)を推定しスクリーニングに用いても差し支え無い。ただし、環境中にも原発事故によって放出された放射性セシウムが存在することが考えられるため、バックグラウンド値が上昇している場合には、食品中の放射性セシウムに由来する放射線がバックグラウンドの誤差範囲に埋もれて正確な判定が出来ない。

また、NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータでは、据え置き型のGe 半導体検出器や NaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータを用いた簡易計測装置と異なり遮へい体が装備されていないため、環境放射線の影響がある所では十分な検出下限値が確保出来ない。

そこで、適切な遮へい体を用いてバックグラウンド値を下げ、十分な測定時間を取ることでの問題は克服出来る。講演では、穀類を例にバックグラウンド値の低減と検出下限の確認、スクリーニングレベルの確認についても紹介したい。