

[総説]

照射食品の誘導放射能の評価

古田雅一

大阪府立大学大学院 (〒 599-8570 大阪府堺市学園町 1-2)

Evaluation of induced radioactivity in irradiated foods

Masakazu FURUTA

Osaka, Prefecture University, 1-2 Gakuen-cho, Sakai, Osaka 599-8570 Japan

本稿は、2006年2月17日に開催された第3回原子力委員会食品照射専門部会の議事録より、古田雅一氏の了解を得て、当日古田氏が述べた意見を日本食品照射研究協議会事務局がまとめたものである。

はじめに

放射線照射食品の安全性に関しては、放射性照射で毒性のある分解生成物が生じないかということが一番大きな問題と思われまます。食品も有機化合物の集合体であり、放射線が当たると放射線化学反応が起こり、それによって独特の反応生成物ができる可能性があるのです。それについての毒性が、微生物の細胞、動物の細胞、あるいは動物そのものを使った安全性試験で評価されるのです。しかし、一般消費者からは、放射線照射されることで食品が放射能を帯びないか、という素朴な疑問がよく出てくるのです。私も大阪市内で毎年夏休みに開催している「みんなの暮らしと放射線展」という展示会で、芽止めされたジャガイモを前にして、来場者の方から「放射線が当たっているの?」「放射能が出ているのと違う?」といったような質問をよく受けます。このようなことがきっかけで、放射線を当てたときに本当に放射能が検出されるのか、もう一度しっかり確認しておいた方が良くと思い、この研究を始めました。

放射線照射で食品が放射能を帯びる場合

まず、放射線照射で食品が放射能を帯びる場合が

あるか否かについて、文献を調べたところ、かなり古くから検討されていることがわかりました。1950年代～60年代、特にアメリカ合衆国陸軍の研究所を中心に、非常に詳細な検討が行われていました。しかし、その検討は、いわゆる物理学的な放射線物理を基本とした理論的評価による検討でした。専門家の方には、通常、食品照射に使用される放射線であるコバルト-60あるいはセシウム-137から出てくるガンマ線、10MeV (メガエレクトロンボルト; エネルギーの単位) までの電子線、5MeVのX線といった程度の放射線であれば問題ないことは常識になっており、1981年のFAO (国連食料農業機関)、IAEA (国際原子力機関)、WHOの合同専門家委員会が出した食品照射の安全宣言の中でも謳われています。しかしながら、私自身も理料系ですが、生物系、農学系ですので、この辺りの理論的評価を一目見て理解するのはなかなか難しく、ましてや一般消費者の方にはかなり分かりづらいのではないかと思います。核反応の起こりやすさの評価を明らかにし、実際に放射線を照射された食品の放射能測定を行う必要があるのでは、思いました。

核反応の起こりやすさの評価

まず、核反応の起こりやすさの評価ですが、先述の理論的な評価の流れにも沿いながら説明します。

食品は有機化合物の集合体ですが、さらに細かく見ていきますと、食品の最小構成単位は原子であり、有機物分子を構成する炭素、水素、窒素、酸素

といった元素が圧倒的に多いわけです。そこで、他の元素についてさらに詳しい元素分析を行ってみました(表1)。

食品は黒コショウと白コショウですが、いろいろな元素が並んでいます。ナトリウムから始まり、アルミニウム、硫黄、塩素、カリウム、カルシウムと、だんだん重くなっていきます。ウラン、トリウム、水銀などのように非常に重い元素も微量ながら含まれていることがわかります。これは、中性子放射化学分析法という分析法に基づいて測定しました。

元素の構造(図1)についてですが、原子は原子核が核になり、この中に中性子と陽子が主に含まれています。その周りを電子が回り、最も軽い元素である水素の場合、原子核に陽子が1個あり、その周りに電子が1個回っています。重い元素の炭素ですと、原子核の陽子の数は6つというように、元素が重くなっていくにつれ、原子核の陽子と中性子の数はだんだん増えることが知られています。

そこで、このような元素の集合体に放射線が当たった場合、元素が何か反応して放射線を出す、放射性同位元素に変わる、ということが起こり得るのかどうかを次に検討しました。

放射線物理の世界では、既にいろいろな研究がなされ、そうした反応が起こることが分かっており、

それを核反応(図2)と呼んでいます。

表1 Elemental composition of pepper measured with neutron activation analysis

Element	Content (ppm) (error, %)	
	Black pepper	White pepper
Na	5.7 × 10 (4)	1.4 × 10 (10)
Al	8.4 × 10 (13)	5.8 × 10 (8)
S	<8.0 × 10 ³	<2.0 × 10
Cl	1.6 × 10 ³ (5)	3.6 × 10 (17)
K	1.2 × 10 ⁴ (3)	5.9 × 10 ² (10)
Ca	3.4 × 10 ³ (7)	1.3 × 10 ³ (7)
Sc	1.7 × 10 ⁻² (4)	8.2 × 10 ⁻³ (7)
Ti	<3.0 × 10	<1.0 × 10
V	2 × 10 ⁻³ (40)	1 × 10 ⁻¹ (40)
Cr	3.4 × 10 ⁻¹ (25)	9.0 × 10 ⁻¹ (11)
Mn	4.0 × 10 (23)	4.0 × 10 (21)
Fe	7.1 × 10 (7)	6.7 × 10 (6)
Co	5.2 × 10 ⁻² (8)	3.2 × 10 ⁻² (11)
Ni	1 (32)	4 × 10 ⁻¹ (40)
Cu	<1.0 × 10	8 (40)
Zn	1.2 × 10 (5)	1.0 × 10 (4)
As	<3 × 10 ⁻²	<3.0 × 10 ⁻²
Se	<5 × 10 ⁻²	<5.0 × 10 ⁻²
Br	1.3 × 10 (3)	8.9 × 10 ⁻¹ (3)
Rb	1.5 × 10 (3)	9.3 × 10 ⁻¹ (12)
Mo	2.0 × 10 ⁻¹ (29)	3.4 × 10 ⁻¹ (14)
Ag	<3.0 × 10 ⁻²	<3.0 × 10 ⁻²
Cd	<2.0 × 10 ⁻²	<1.0 × 10 ⁻¹
Sn	<3	<1
Sb	6 × 10 ⁻² (40)	1.1 × 10 ⁻³ (21)
I	<6 × 10 ⁻¹	<7 × 10 ⁻¹
Cs	7.4 × 10 ⁻² (8)	1 × 10 ⁻² (40)
Ba	2.1 × 10 (11)	1.4 × 10 (14)
La	6.0 × 10 ⁻² (15)	3.2 × 10 ⁻² (19)
Ce	7 × 10 ⁻² (40)	<5 × 10 ⁻²
Sn	9.5 × 10 ⁻³ (8)	3.4 × 10 ⁻³ (19)
Eu	<1 × 10 ⁻³	6 × 10 ⁻⁴ (40)
Yb	<1 × 10 ⁻²	<1 × 10 ⁻²
Lu	<3 × 10 ⁻³	<2 × 10 ⁻³
Hf	<1 × 10 ⁻²	<9 × 10 ⁻³
Ta	3 × 10 ⁻³ (40)	2 × 10 ⁻³ (40)
W	<6 × 10 ⁻²	<3 × 10 ⁻²
Hg	2 × 10 ⁻² (40)	<2 × 10 ⁻²
Th	5.4 × 10 ⁻² (9)	2 × 10 ⁻² (40)
U	<2 × 10 ⁻²	<1 × 10 ⁻²
Total	1.9 × 10 ⁴	2.1 × 10 ³

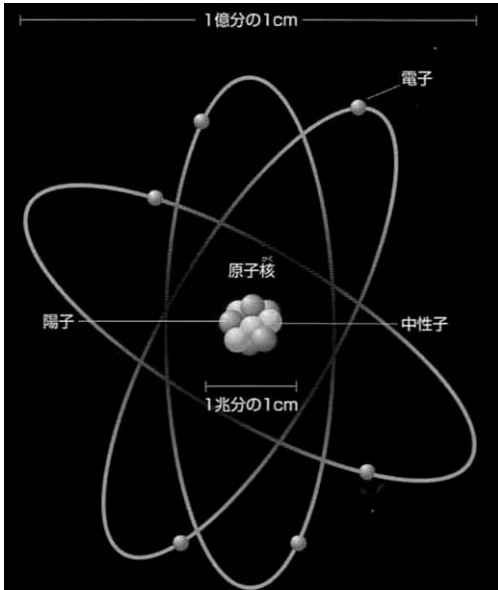
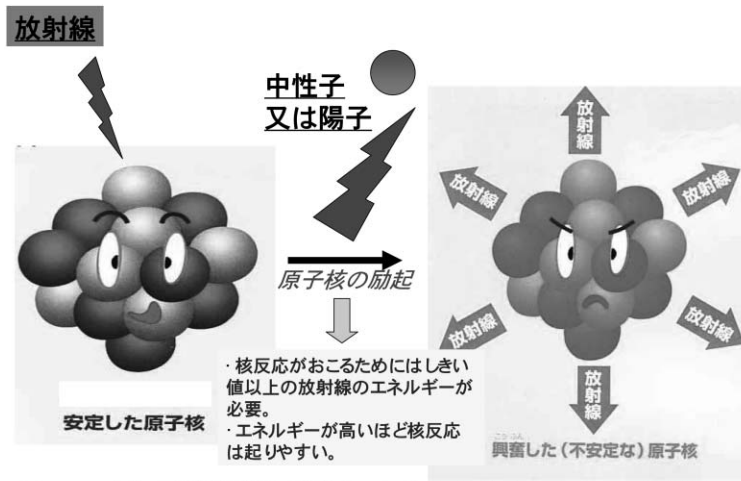


図1 元素の構造



10 MeV以下の放射線で問題になるのは主として(γ , n)反応!

図2 核反応とは

核反応とは、放射線が当たり、原子の中の原子核に放射線のエネルギーが吸収され、今まで安定に存在している原子核の中に要らないエネルギーが入って原子核が励起されるといふもので、例えば、原子核の構成成分である中性子や陽子が邪魔になって飛び出してしまふ、といった反応です。その結果、放射線を出すような、興奮した、あるいは不安定な原子核に変わることが起こり得ます。

(注) 元素の中には、安定な元素と放射線を出す放射性同位元素の2種類があります。空中にある炭素も、大部分を占める炭素-12は放射線を出しませんが、大気中には炭素-14が0.00014%程度あり、これは放射性同位元素であり放射線(ベータ線)を出し、安定な窒素-14に変わり(壊変)します。カリウム-40は天然に存在するカリウム(大部分はカリウム-39)の0.012%を占め、大部分(89%)はベータ線を出して安定なカルシウム-40に変わります。一方残り11%は「電子捕獲」によりアルゴン-40に変わり、ガンマ線を出して安定化します。カリウムは体内にもたくさんあり、ヒトの骨を全部集めて測りますと、通常の検出器で検出上限を超えるくらいのカリウム-40由来のカウントが出てきます。

では、放射線が当たれば必ず反応が起こり、どんどん放射能を帯びてしまうのかというと、そういうことはありません。核反応が生じるためにはいくつかクリアしなければならない要件があります。その1つが放射線のエネルギーです。放射線のエネ

ギーが低い場合は核反応は起こらず、核反応が起こるためにはあるエネルギー以上、すなわちしきい値以上のエネルギーが必要です。

また、しきい値以上のエネルギーの放射線が当たってもすぐに核反応が生じるわけではありません。エネルギーがしきい値に近いうちは核反応は起こりにくく、エネルギーが高いほど核反応は起こりやすいと言われており、エネルギーが高くなれば高くなるほど多種多様な核反応が起こり得ます。食品照射で使われる放射線は、一般的には10MeV以下の放射線であり、特にガンマ線と電子線が使われていますが、このレベルの放射線で問題になってくるのは主として(γ , n)反応であることが、物理学的な検討でわかっています。ガンマ線の場合、中性子が放り出されて原子核の状態が変わるといった反応が、電子線の場合は、電子線が当たり制動放射という現象が起こってガンマ線に変換され、そのガンマ線が原子核に吸い込まれるといった反応があり、そうした場合には(γ , n)反応が起こり得ます。

このような基礎的な情報をもとに、これまでいろいろな研究者により誘導放射能の理論的評価がなされてきました。一番最近のものとしては、2002年4月、IAEAが出したTECDOCという文書で、非常に詳しい理論的な検討結果が出ており、現在のところ、これが、いわゆる誘導放射能の安全性に関する決めのデータになっています。

誘導放射能の理論的評価の手順

次に、誘導放射能の理論的評価の手順を簡単に説明します。

まず、先述のように対象となる食品の元素組成を測定して明らかにします。多くの理論的評価は、さまざまな食品の元素組成を総合的に評価し、全ての食品に当てはまる程度の元素組成モデルを設定し、それに対して食品照射に使われる放射線、すなわちコバルト-60あるいはセシウム-137から放出されるガンマ線、10MeVまでの電子線、5MeVのX線といった放射線について、そのエネルギーが吸収された場合に起こり得る核反応をリストアップします。その結果、ほとんどは (γ, n) 反応の寄与が大きいが理論的にわかります。また、それがそれぞれの元素組成に属する特定の元素とどの程度反応するのかも理論的にわかりますので、核反応の結果生じる可能性のある放射性同位元素量が計算上、推定できます。つまり、どの程度の放射能が生じるのかが机上の計算で出てくるのです。

その際に、考慮すべき要因がいくつかありますが、その一つが放射線のエネルギーレベルで、しきい値以上かどうか、ということです。エネルギーが低いと、ある核反応は全く起こりません。また、放射線の量についても、核反応をたくさん起こすならば放射線をたくさん当てればよいということになります。対象となる元素の量も多い方がよいということになります。また食品を透過する放射線がどの方向にどの程度散乱し、その方向に核反応の標的となる元素がどの程度の密度で存在するか、という要因も考えなければなりません。さらに、同じ放射線量、同じ元素量であっても核反応が起こるか起こらないかというような程度、これを核反応断面積と呼んでいますが、いわゆる核反応が起こる可能性といった要因もはいつてきます。こうした要因を全て考慮して計算する必要があります。

計算の結果、現在、食品照射に用いられる放射線のレベルである60kGyを当てると、ほとんどの食品で無菌化でき、この程度の照射で生じる誘導放射能は事実上ゼロであると結論づけられます。

したがって、専門家の中では「もうこれでOK」という話になるわけですが、専門外の私達には、これだけでは安心できないところもあるのです。

放射線照射コショウによる実際的评价

そこで、実際にコショウに放射線を当て、どの程度の放射能が出るかを調べ、安全であることを確認することになりました。先述の元素組成に従って、どの程度の (γ, n) 反応が起こり得るのかを文献で調べ、リストアップしました(表2)。

例えば、硫黄では、エネルギーのしきい値が9.9MeVです。10MeVの電子線が当たった場合、 (γ, n) 反応として硫黄-36から中性子が1個出て硫黄-35が生じます。硫黄-35は、バイオ関係の方はよくご存じだと思いますが、ベータ線を出す放射性核種です。したがって、硫黄に10MeVの放射線を次々に当てますと、ある程度のベータ線を出す硫黄-35が生まれることは理論上明らかです。核反応断面積を評価しますと、確率としては非常に少ないこともわかりますが、しきい値は全て10MeV以下の数字です。食品照射の最高エネルギーである10MeVの電子線を当てると、放射性核種が出てくる可能性があります。

では、それがどの程度のレベルであり、普通の放射能測定ではどれ位検出されるのでしょうか。

図3では横軸が放射線のエネルギーを表し、この核反応がヨウ素-127からヨウ素-126という放射性核種が生じる (γ, n) 反応であることを示しています。縦軸は「Cross Section」、日本語に訳すと「核反応断面積」ですが、核反応がどの程度起こりやすいかという指標です。約7MeVがしきい値であり、エネルギーが高くなっていくと、例えば10MeVのところでは、ほんの少しの反応しか起こっていませんが、エネルギーがさらに高くなると、急速にこの“反応の起こりやすさ”、すなわち「核反応断面積」

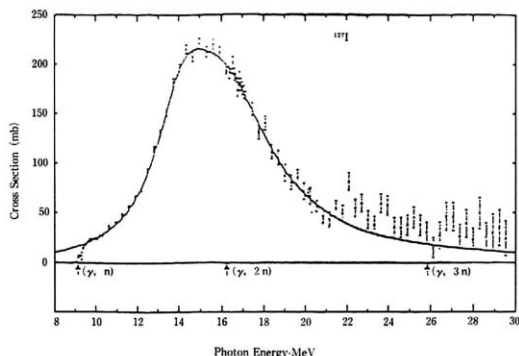


図3 核反応 $^{127}\text{I}(\gamma, n)^{126}\text{I}$ の生じ易さ

表2 放射線照射コショウによる実際的评价

Stable nuclide (%abundance)	Threshold energy (MeV)	Radionuclide from (γ , n) reaction	Half-life	Type of decay (%abundance)	Major radiation approximate energy (MeV) and intensity		
					α	β	γ
	9.9		87.9 d	0.167		no γ	
	9.3		330 d			no γ	
	9.7		92 y	0.167		no γ	
	9.9		12.80 h	0.571 0.657			
	9.2		57 m	0.897		1.34 no γ	
			13.8 h			0.439	
	9.6		435 d			0.0880 (^{100m} Cd)	
	9.5		48.6 n			0.150 0.246	
	9.0		14 y	0.58		0.265 ($\sim 0.1\%$)	
	8.7		2.21 d	1.11 (58%) 0.86 0.58 (42%)		0.0353 0.261 0.336 0.528	0.232 0.267 0.493
			43 d	1.62 (97%) 0.68 (1.6%)		0.106 0.336 0.493 1.133 1.291 1.419 1.450	0.158 0.485 0.934 1.291 1.450
	9.8		115.1 d			0.255 (1.9%)	
	8.4		40.08 n	1.26 (99.94%)		0.1600 (85.5%)	
			129.2 d	0.32 (0.60%) 1.42 (99.4%)		0.031 0.60	
	9.0		2.68 d	0.274 (5%) 1.42 (67%) 1.98 (26%)		0.564 (70%) 1.257 (0.81%) 0.693 (3.8%) 0.141 (0.79%) 0.0355 (6.7%)	
	9.3		130 d				
	9.1		6.47 d	0.403 (弱) 0.810 (2%)		0.668 (97%) 0.465 (1.9%)	
	9.2		28.7 h			0.2682 (16%)	
	8.7		2.552 n			0.662	
	8.1		44 n			0.158 0.370	
	7.4		45.9 d	0.212		0.27915	
	8.0		3.0×10^7 y				
	7.4		0.8 s			0.5697 1.064	

が大きくなり、実際に理想的な条件では測定することもできます。

ところが、食品照射で認められている放射線エネルギーは10MeVまでであり、それより上の反応が起こるような放射線は認められていませんので、食品照射で考慮するところでは反応は少ししか起こらないということになります。この核種で実際にどの程度の放射能が出るかを理論的に計算しますと、誘導放射能は検出されないという結論になります。そこで、実証試験として、次のような放射能測定を行いました。

実際の放射能測定

- ・実験材料 黒コショウ, 白コショウ種子
(マレーシア, サラワク産)
- ・放射線照射
10MeV ライナック電子線, 100kGy
- ・放射能測定
γ線: 20cm厚みの鉄室内でリチウムドリフト
ゲルマニウム検出器, 波高分析
β線: 2πガスフローカウンター

(注) 通常、食品照射に用いられる放射線のうち、10MeVの電子線を選んだのは、エネルギーが一番高かったからです。放射能を生じる核反応は、エネルギーが高い方が起こりやすいことはわかっていますので、現在、食品照射で認められている最高のエネルギーとなる電子線で、しかも放射線の量も国際機関で推奨される10kGyの10倍量という極端な量を選んだわけです。

なお、香辛料の場合は10kGyですが、例えば、宇宙食や特殊な病人食には50kGyが使われる場合もあります。が、100kGyで実験をしているので、問題ないと思います。

黒コショウと白コショウ種子に、食品照射で用いる最高エネルギーである10MeVの電子線を100kGyという膨大な量を当ててみました。通常、香辛料に照射して殺菌する場合は、10kGy程度当てれば食品衛生上、問題ないレベルまで殺菌が可能なのですが、その10倍量という極端な量を設定しましたが、放射能測定は、現在のところ最も感度のよい放射能測定装置を用い、ガンマ線とベータ線の測定を行いました。「鉄室内で」とありますが、これは鉄の壁で囲い、外から入ってくる自然放射線をできるだけ遮断するという措置です。私達の居住空間には自然放射線が飛び交っており、非常に高感度な測定器を

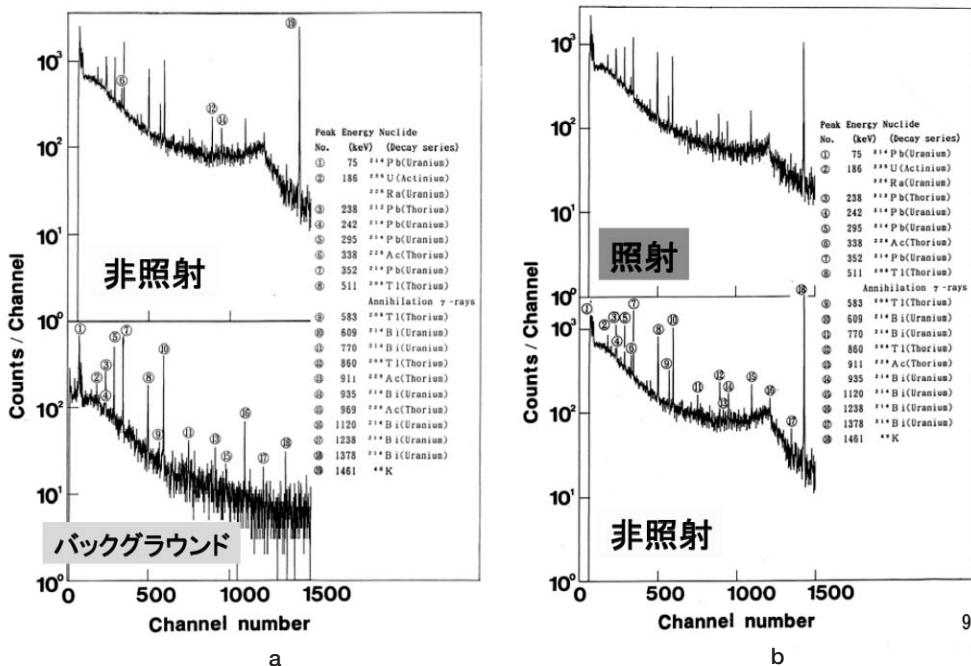


図4 黒コショウのγ線測定結果

用いると、この自然放射線も十分測定されてしまうからです。この措置により、食品そのものから出てくる放射線がより感度よく測れることとなります。

図 4a, b は、黒コショウの測定と解析の結果です。図 4a が、何も入れないときと照射していないコショウを同じレベルで放射能測定し比較したものです。何も入れないとき、すなわちバックグラウンドでもこの程度のレベルの自然放射線が観測されます。ピークがいろいろ出ていますが、全て土や岩石の中から生じる、専門的に言いますとウラン系列あるいはトリウム系列と呼ばれる自然放射線であることが同定できました。照射していない黒コショウでは、こうした自然放射線によるピークが混ざり、この何も入れないときにも見えている自然放射線のピークは無視できるものです。また、一部に香辛料特有のピークが出ていますが、これは香辛料に含まれるカリウムです。カリウムの中には自然放射線としてカリウム-40 という放射性同位元素が含まれているので、このように自然放射線として観測されるのです。

図 4b が、照射していないコショウと照射しているコショウを同じレベルで放射能測定し比較したものです。一見してわかりますが、照射したものに新たなピークは生じていません。理論上、ほんの少し出てきそうな放射線であっても、実際に高感度の測定を行うと全く検出されません。こうしたことから、2002 年 4 月に IAEA が出した「食品照射に用いられる放射線による滅菌線量レベル (60kGy) での

照射では、生じる誘導放射能は事実上ゼロである。」(IAEA-TECDOC1287) という結論が裏付けられます。

(注) IAEA-TECDOC1287 (2002 年 4 月) 52 ページの原文は次の通りです。

The increase in radiation background dose from consumption of food irradiated with gamma rays from cobalt-60 or Cs-137 to an average dose below 60 kGy, is insignificant. It is best characterized as zero, as the increase from consumption of 50 kg/year immediately after irradiation is less than 10-8 mSv/year, or less than 1/300,000,000 of the natural background exposure, which is about 3 mSv/year.

計算の結果として 10 のマイナス何十乗とかいう誘導放射能のレベルは値としては出てきます。そういう意味ではゼロではないのですけれども、その検討の中で、いわゆる自然界にある放射線、例えば食品ですとカリウム-40 などがありますが、そういうものが人体に与える影響を評価しており、その健康影響のレベルと比較するとゼロであると言える、そういう文章になっています。

また、表 3 はガンマ線測定と検出限界です。厳密に言いますと、図 4 では検出されていなかったのですが、検出限界値以下のものがあるかもしれないので検出限界値を示しました。しかし、放射能が検出されたとしても、この程度のレベルは極めて低い数値であるので、健康上は問題ないことが一見してわかります。

表 4 はベータ線の測定結果です。黒コショウと白コショウで、それぞれ上段が照射したもの、下段が

表 3 ガンマ線測定と検出限界

Nuclide	Half life	γ energy (MeV) (% abundance)	Detection limit of count ($n=3\sigma$)	Detection efficiency (%)	Detection limit of radioactivity (Bq)
⁶⁴ Cu	12.8 h	1.34 (0.48)	46	0.44	34
^{69m} Zn	13.8 h	0.439 (100)	101	1.6	9.4×10^{-2}
^{111m} Cd	48.6 m	0.246 (94)	157	3.0	1.3
^{113m} Cd	14 y	0.265 (0.1)	148	2.8	20
¹¹⁵ Cd	2.21 d	0.528 (27.5)	84	1.2	1.5×10^{-1}
^{115m} Cd	43 d	0.934 (1.9)	64	0.88	1.5
¹¹³ Sn	115.1 d	0.392 (64.2)	112	1.8	3.8×10^{-2}
¹²² Sb	2.68 d	0.564 (70)	82	1.2	5.5×10^{-2}
¹³² Cs	6.47 d	0.668 (97)	75	0.96	3.7×10^{-2}
^{135m} Ba	28.7 h	0.268 (15)	154	2.8	2.9×10^{-1}
^{199m} Hg	44 m	0.158 (58.4)	167	5.2	1.4
²⁰³ Hg	46.9 d	0.279 (81.5)	132	2.7	2.4×10^{-2}
²⁰⁸ Pb	0.8 s	1.064 (90)	58	0.56	9920

照射していないものですが、数字的には有意な差は全くありません。バックグラウンドとして、何も入っていないものを測った場合も測定結果は変わらず、全く問題ないという結果が得られました。

さらに、わざと (γ, n) 反応による誘導放射能が出るといわれている銅、亜鉛、カドミニウム、スズ、アンチモン、セシウム、バリウムなどの重金属類の化合物をコショウの粉の中に添加してみました (図5, 表5)。18グラムのコショウに4.5グラムずつよく混ぜて、それに先ほどの10MeVの電子線を100kGy照射しました。先ほどと同様に測定し照射直後のガンマ線スペクトルを見ると、予測どおりに、(γ, n) 反応の生成物である誘導放射能が出てきました。た

表4 ベータ線測定結果

Sample	10 MeV electron*	Radioactivity (cpm)**
Black pepper	irradiated non-irradiated	$3.4 \pm 0.5^{***}$ $2.8 \pm 0.4^{***}$
White pepper	irradiated non-irradiated	$1.4 \pm 0.3^{***}$ $1.2 \pm 0.3^{***}$
Background		$1.2 \pm 0.4^{***}$

* Irradiated 100 kGy.
** Measured immediately after irradiation.
*** All uncertainty statements made refer to 67% confidence level.
測定限界は 7.0×10^{-2} Bg (酸化ウラン)

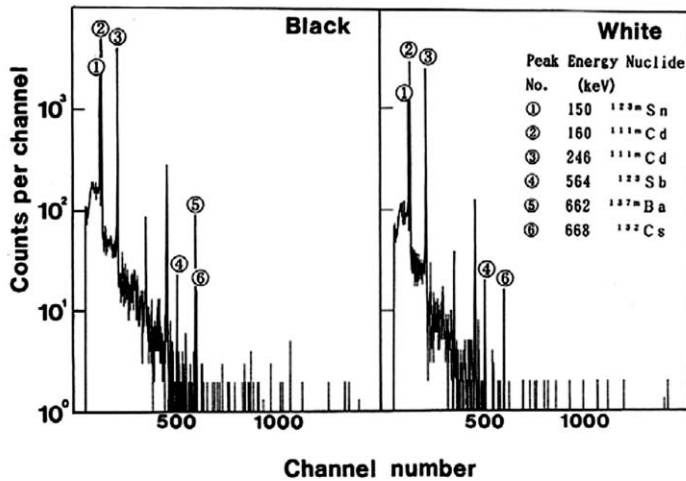


図5 重金属をわざと加えて照射~100kGy照射直後の γ 線スペクトル

表5 重金属をわざと加えて~検出された放射能の変化

(γ, n) product	Half life	Pepper Black/White	Radioactivity (Bq/g) after	
			0 days	5 days
^{111m}Cd	48.6 m	Black	1.2×10	ND
		White	7.2	ND
^{123m}Sn	40.08 m	Black	9.2	ND
		White	5.7	ND
^{122}Sb	2.68 d	Black	2.0×10^{-1}	6.5×10^{-2}
		White	2.1×10^{-1}	6.5×10^{-2}
^{137m}Ba	2.552 m	Black	2.2	ND
		White	ND	ND
^{132}Cs	6.47 d	Black	1.6×10^{-1}	8.8×10^{-2}
		White	1.2×10^{-1}	7.7×10^{-2}

ND] Not detected.

だ、非常に小さいレベルであり、これはすぐに消えてしまう放射性核種なので、例えば5日後に測った場合には、ほとんどの誘導放射能はもう検出されないレベルに落ちています。

このように安全性は確認できましたが、さらに、1グラムというかなり大量の照射直後の黒コショウを私達が食べ続けたと仮定して、預託線量当量をICRPのPublication30に出ている表により計算しました。この計算方法ですが、重金属を添加した試料において検出された放射能と、通常の照射コショウの誘導放射能と放射線影響の推定ということで、加えた重金属量と、ナチュラルな黒コショウに含まれていた重金属量との比率を計算し、わざと重金属類を加えた場合に測定された放射能レベルから、ナチュラルな場合の放射能レベルはどの程度かを比率から計算します。その結果、出てきた値が、表6の値ですが、もう検出器では到底検出できない位の 10^3Bq/g や 10^6Bq/g といった大変小さな値です。この値をICRPのPublication30に出ている表に当てはめると預託線量当量が出てきます。ST Wall という表記は胃壁のことで、胃袋の中に入ったときにどの位の被ばく量があるかということですが、これも

10^{-16}Sv/g と非常に少量です。もともとコショウに天然に含まれているカリウム-40、これはカリウムが含まれている食品の中にはどれにでも含まれていて、もちろん私達の体内に含まれている自然放射能ですが、これによって受ける被ばく線量と比較しても、100万分の1以下くらいにしかならないということで、確かに問題ないということが確認できました。

まとめ

文献を調べて理論計算による評価をしても、コバルト-60あるいはセシウム-137から出てくるガンマ線、5MeVのX線、10MeVまでの電子線といった放射線を当てることについては、照射食品の誘導放射能に関して問題ないことが理解できました。また、実際に照射香辛料に対する放射能測定を行っても、誘導放射能およびその影響は無視できるレベルであること、むしろ、コバルト-60あるいはセシウム-137から出てくるガンマ線、5MeVのX線、10MeVまでの電子線といった通常、食品の照射に用いるレベルの放射線では、自然放射能よりも低いレベルの反応しか起こらないということが確認できました。

(2006年2月17日受理)

表6 Estimation of induced radioactivity in 100 kGy-irradiated pepper and calculation of committed dose equivalent (H_{50}) in gastrointestinal tract per intake of 1 g of irradiated pepper just after irradiation

Nuclide	Half life	Pepper Black/White	Radioactivity (Bq/g)		H_{50} (Sv/g)
			metal-added	natural	
$^{111\text{m}}\text{Cd}$	48.6 m	Black	1.2×10	3.5×10^{-5}	4.0×10^{-16}
		White	7.2	1.1×10^{-5}	1.3×10^{-16}
$^{123\text{m}}\text{Sn}$	40.08 m	Black	9.2	3.9×10^{-4}	3.0×10^{-16}
		White	5.7	8.0×10^{-5}	6.1×10^{-17}
^{122}Sb	2.68 d	Black	2.0×10^{-1}	1.9×10^{-8}	3.8×10^{-16}
		White	2.1×10^{-1}	3.6×10^{-8}	7.2×10^{-16}
$^{137\text{m}}\text{Ba}$	2.552 m	Black	2.2	8.7×10^{-4}	2.6×10^{-15}
		White	---	---	---
^{132}Cs	6.47 d	Black	1.6×10^{-1}	1.7×10^{-8}	1.0×10^{-17}
		White	1.2×10^{-1}	1.7×10^{-9}	1.0×10^{-18}
^{40}K (Natural activity in the sample)	1.26×10^9 y	Black		3.7	2.0×10^{-8}
		White		1.8×10^{-1}	9.9×10^{-10}
					(ST wall)

ST wall: Stomach wall. LLI wall: Lower large intestine wall