

令和2年度 分担研究報告書

食品中の放射性物質の規制継続による線量低減効果に関する研究
～蓄積検査結果の有効活用による検証に向けたデータ整理方法の
構築及び内部被ばく線量係数の導出～

研究分担者 工藤 幸清 弘前大学大学院保健学研究科・教授
研究分担者 對馬 恵 弘前大学大学院保健学研究科・講師
研究分担者 細川 翔太 弘前大学大学院保健学研究科・助教

東京電力（株）（当時）福島第一原子力発電所事故（以下「原発事故」という。）を受け、事故直後に設定された暫定規制値に続き、平成24年4月からは食品中の放射性物質に関する現行の基準値（以下「基準値」という。）が適用されている。本基準値を指標として、原子力災害対策本部で定めたガイドラインに基づき17都県を中心に地方自治体においてモニタリング検査が継続して実施されており、基準値を超過した食品が流通しないように回収・廃棄や出荷制限といった厳格な措置が取られている。

本研究課題では、蓄積されたモニタリング検査結果を活用し内部被ばく線量の低減効果を検証する。その予備段階として、分担研究では、膨大なデータの整理方法の構築及び解析、モニタリング検査結果に対する内部被ばく線量係数の導出を行うことを目的とした。

モニタリング検査結果を用いて内部被ばく線量を算出するには、モニタリング検査結果の品目ごとの食品摂取量が必要となる。本研究では、国民健康・栄養調査における食品の98小分類に飲料水を加えた99分類の摂取量を利用することとした。モニタリング検査の品目名（2012年度の場合3,119品目）を99分類に対応させる必要があり、その事前準備としてプログラミング処理等によってそれぞれの検査品目が該当する食品分類の候補を半自動的に抽出した。これにより、手作業による分類作業を大きく効率化させることができた。

内部被ばく線量の算出に当たっては、経口摂取に係る線量係数（Sv/Bq）が必要である。本研究課題では、モニタリング検査結果のセシウム134とセシウム137の合計値を利用するため、セシウム134とセシウム137それぞれの線量係数と物理学的半減期を基に、セシウム134とセシウム137の合計値に対して適用できる年度別の線量係数を導出した。

A. 研究目的

東京電力(株)(当時)福島第一原子力発電所事故(以下「原発事故」という。)を受け、事故直後に設定された暫定規制値に続き、平成24年4月からは食品中の放射性物質に関する現行の基準値(以下「基準値」という。)が適用されている。本基準値を指標として、原子力災害対策本部で定めたガイドラインに基づき17都県を中心に地方自治体においてモニタリング検査が継続して実施されており、基準値を超過した食品が流通しないように回収・廃棄や出荷制限といった厳格な措置が取られている。モニタリング検査結果は厚生労働省が取りまとめてウェブサイト上で公開しているが、暫定規制値適用当時(平成23年3月～平成24年3月)から累計すると令和2年3月まででおおよそ260万件に及ぶ。

本研究課題では、蓄積されたモニタリング検査結果を活用し内部被ばく線量の低減効果を検証する。その予備段階として、分担研究では、膨大なデータの整理方法の構築及び解析、モニタリング検査結果に対する内部被ばく線量係数の導出を行うことを目的とした。

B. 研究方法

1. 検査データの整理方法の構築及び解析

本研究課題は食品を国民健康・栄養調査における食品の98小分類に飲料水を加えた99分類に分け、分類ごとの摂取量から内部被ばく線量を推定するものである。モニタリング検査の品目名はある程度の自由度を持っており、上記の99分類に仕分けるためには人の判断に基づく手作業が必要となる。

各年度において約30万行の膨大な量の調査結果を扱うためにはコンピュータによる効率化が必要となる。そこで、各年度の全検査結果から一意な品目名を抽出し、小分類番号の候補を提示する前処理を行った。

モニタリング検査結果は厚生労働省のホームページ上でExcelファイル及びPortable Document Format(PDF)ファイルの形式で公開されているが今回はExcelファイルを用いた。はじめに、放射能濃度(セシウム134と137の合計値(Bq/kg))、採取日(購入日)が判別できないデータを削除し、採取日(購入日)の表記フォーマットを統一してデータクリーニングを施した。研究初年度に対象とするデータは2012年及び2016年に採取・購入された2年分とした。まずプログラミング言語のPython version 3.8.8を使用し、Pandas version 1.2.4モジュールを用いてExcelファイルを読み込み、DataFrame形式で格納した。Pandasのunique関数及びvalue_counts関数を用いて品目名列の一意な品目名及びその出現数を取得した。国民健康・栄養調査食品群別表の各小分類の例として挙げられている食品名に加え、PandasのSeries.str.contains関数を用いながら各小分類を代表するキーワードを探索した。この際、できる限り他の小分類の食品が含まれない短いキーワードとした。Microsoft® Excel® 2016を用いて、これらのキーワードを用いた部分一致により各品目名の小分類番号の推定を行った。

2. 線量係数

放射性核種の経口摂取量(Bq)から内部被ばく線量(Sv)算出のための線量係数

(Sv/Bq) は、国際放射線防護委員会 (International Commission on Radiological Protection: ICRP) のICRP publication 72が示す値を用いた。対象となるセシウム134とセシウム137の線量係数はTable 3のように年齢区分毎に示され、例えば年齢区分が成人ではそれぞれ 1.9×10^{-8} Sv/Bqと 1.3×10^{-8} Sv/Bqである。また、セシウム134と137の物理学的半減期はそれぞれ2.06年と30.2年¹⁾である。仮に初年度においてセシウム134と137の比が同じであったとしても、その比は年々低くなる。そこで、各年度における放射性セシウム (セシウム134と137の合計値) に対する線量係数を原発事故当時のセシウム134と137の比率と物理学的半減期に基づく減衰率を考慮し算出した。

事故当時のセシウム137に対する134の比率は 9.2×10^{-1} (平成23年6月14日時点)²⁾から考えて1.0とした。次に、Table 3の線量係数の値をセシウム134と137の物理学的半減期に基づいた減衰率で加重平均し、各年度の放射性セシウム (セシウム134と137の合計値) に対する線量係数 (以下「DCF」という。) を次式により算出した。

$$DCF = \frac{d_{134} \cdot DC_{134} + d_{137} \cdot DC_{137}}{d_{134} + d_{137}}$$

ここで、

DCF : 物理学的半減期に基づいた減衰率で加重平均した各年度の放射性セシウムの線量係数 (Sv/Bq)

DC_{134}, DC_{137} : Table 3 に示す放射性セシウムの線量係数 (Sv/Bq)

d_{134}, d_{137} : セシウム 134 とセシウム 137 の各年度までの経過年による減衰率

C. 研究結果と考察

1. 検査データの整理方法の構築及び解析

検査結果は2012年度が268,060行分、2016年度が297,797行分であった。一意な品目名は2012年度が3,119品目、2016年度が1,729品目であった。出現頻度が高かった上位20品目をTable 1に示した。この結果から牛肉の検査数が突出して多いこと、また出現数上位の品目名はある程度固定されていることが分かり、調査する年度が進むにつれて分類に要する労力は低減していくことが予想される。

国民健康・栄養調査食品群別表によると小分類番号1番の“米”に分類される食品名の例として玄米、半つき米、七分つき米、精白米、はいが精米などが挙げられている (表に記載されている先頭の5品目)。よって小分類番号1番に分類される食品の抽出には“米”というキーワードが有効であるように思われる。2012年度及び2016年度の検査結果の品目名で“米”を含むものをTable 2に示した。抽出された食品名には小分類番号1番のものが多く含まれている一方で、その他の小分類番号のものが含まれていた。これらは他のキーワードによって小分類番号の候補を複数提示することとした。米味噌であればキーワード“味噌”により小分類番号96の“味噌”が候補として挙げられ、手作業による分類の際に小分類番号1番か96番の判断をするだけで済むこととなる。一方で、揚げ油 (米油) は“油”をキーワードとして小分類番号78番の植物性油脂を候補に挙げるのが可能だと考えたが、Table 2に示したように醤油や醤油漬という品目名に含まれることから有効なキーワードとはならなかった。これらの作業によって決定したキー

ワードをもとにMicrosoft® Excel®を用いて小分類番号を推定した様子をFig. 1に示した。キーワードを1つだけ含む場合のみ小分類番号を提示し、含まないもしくは2つ以上含む場合はXと表示した。また、小分類番号だけでは正しく分類されているかが判断できないため、VLOOKUP関数によって別に用意した表より小分類番号から小分類の名称を取り出し表示した。2012年度は78.4%、2016年度は64.1%の品目名に1つ以上かつ6つ以下の小分類番号の候補を提示した。全ての品目名に対して99分類を判断することに比べ作業の効率化が図られたと考えられる。

以上のように、本研究によって候補として挙げられた小分類 (Fig. 1に例を示す) を参照することにより、総括・分担研究報告書中の「2 データ準備」における「2-2 食品摂取量」の項目でのモニタリング検査結果の品目名 (2012年度は3,119品目、2016年度は1,729品) と食品99分類の対応作業を効率的に行うことができたと考えられた。

2. 線量係数

物理学的半減期に基づいた減衰率で加重平均した各年度の放射性セシウムの線量係数 (DCF) をTable 4に示す。年齢区分の成人において、1年後の2012年度 (平成24年度) のDCFは 1.55×10^{-8} Sv/Bqとなった。物理学的半減期を考慮しない算術平均³⁾では 1.6×10^{-8} Sv/Bqとなるので、算術平均での線量計算では約3%の過大評価が予想された。この過大評価傾向は年を追うごとに大きくなった。5年後の2016年度 (平成28年度) のDCFは 1.40×10^{-8} Sv/Bqであることから、算術平均 (1.6×10^{-8}

Sv/Bq) での線量計算では約14%の過大評価となることがわかった。また10年後、20年後のDCFはそれぞれ 1.33×10^{-8} Sv/Bq、 1.30×10^{-8} Sv/Bqとなりセシウム137の線量係数に近づいた。セシウム134の10年後、20年後における減衰率はそれぞれ0.035 (3.5%)、0.0012 (0.12%) であるため、20年後にはセシウム134を考慮しなくてもよい目安になると考えられた。

総括・分担研究報告書中の「2 データ準備」における「2-3 線量係数」で示すように、規制効果検証のための線量計算においては算術平均でなく、平成24年度、平成28年度に対するDCF (それぞれ成人の 1.55×10^{-8} Sv/Bq、 1.40×10^{-8} Sv/Bq) を用いることとした。

年齢区分の違いによるDCFは、区分の15歳では成人のDCFと全く同じであり、区分の10歳と5歳では成人のDCFよりも低い。区分の3か月は成人のDCFよりも高いが、通常食品摂取は考えにくいいため、本研究とは別に調査すべきと考える。本研究における年齢区分として成人を対象にすることは妥当であると考えられた。ただし、食品の種類によっては、成人よりも15歳の摂取量のほうが大きいことも考えられるため、今後、詳細な検証を行いたい。

参考文献

- 1) アイソトープ手帳 11版. 日本アイソトープ協会, 平成23年1月.
- 2) 薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会放射性物質対策部会. 食品中の放射性物質に係る規格基準の設定について. 平成23年12月22日

- | | |
|--|---|
| <p>http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r9852000023nbs-att/2r98520000023ng2.pdf
(最終アクセス日:2021年3月31日)</p> <p>3) 薬事・食品衛生審議会食品衛生分科
会放射性物質対策部会作業グループ
(線量計算等) . 食品摂取による被
ばく量の推計結果</p> <p>https://www.mhlw.go.jp/shinsai_jouhou/dl/hibakusenryousuikei_02.pdf (最終ア
クセス日:2021年3月31日)</p> | <p>1. 特許取得
なし</p> <p>2. 実用新案登録
なし</p> <p>3.その他
なし</p> |
|--|---|

D. 研究発表

1. 論文発表
 - ・ Osanai M, Hirano D, Mitsunashi S, Kudo K, Hosokawa S, Tsushima M, Iwaoka K, Yamaguchi I, Tsujiguchi T, Hosoda M, Hosokawa Y, Saito Y. Estimation of effect of radiation dose reduction for internal exposure by food regulations under the current criteria for radionuclides in foodstuff in Japan using monitoring results. *Foods*. 2021; 10(4): 691.
2. 学会発表
なし
3. その他
 - ・ 平野大介, 三橋誌織, 小山内暢 (指導教員) . 食品中の放射性物質の規制効果～モニタリング検査結果を用いた基礎的検証～. 弘前大学医学部保健学科放射線技術科学専攻卒業研究発表会. 2020年11月. 弘前

E. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む。)

図表

Table 1 出現数の多い上位 20 品目

順位	2012 年度		2016 年度	
	品目名	出現数	品目名	出現数
1	牛肉	175,734	牛肉	237,231
2	米（玄米）	5,766	原木シイタケ	2,134
3	大豆	4,577	タケノコ	1,419
4	米	3,597	原乳	1,378
5	ソバ	2,922	マダラ	1,088
6	原乳	2,453	牛乳	1,078
7	マダラ	1,531	イノシシ肉	1,046
8	ハウレンソウ	1,466	ヒラメ	904
9	牛乳	1,213	大豆	898
10	ヒラメ	1,190	ワラビ	617
11	小麦	1,123	キャベツ	607
12	キュウリ	1,093	ハウレンソウ	583
13	豚肉	1,002	キュウリ	573
14	ネギ	1,000	マコガレイ	570
15	キャベツ	937	米（玄米）	550
16	ダイコン	905	コマツナ	541
17	トマト	868	ネギ	535
18	茶（飲用）	854	ダイコン	533
19	リンゴ	769	ババガレイ	531
20	イノシシ肉	755	菌床シイタケ	523

Table 2 キーワードを含む品目名 (2012年度及び2016年度)

キーワード	抽出される品目名
米	米(玄米)、米、米味噌、米(精米)、米(白米)、米(胚芽米)、包装米飯、米粉、米菓、揚げ油(米油)、米麴、米飯、玄米茶、米飯類、米白絞油、米(もち米)、米麴加工品、レトルト米飯類、米黒酢、米粉パン、上新粉(米粉)、玄米加工品、包装米飯(かゆ)、米ぬか、加工米、レトルト包装米飯、玄米パン、玄米桑茶、米飯類(かゆ)、包装米飯(白飯)、トマト米麴漬、米粉あんパン、レトルト包装米飯(五目ご飯)、玄米餅、米麴加工品(生塩糀)、米麴加工品(醤油糀)、包装米飯(白米)、レトルト米飯、玄米だんご、米飯類(おかゆ)、米粉蒸しパン、ソバ米、切り餅(黒米入り)、米酢、うどん(米粉入り)、八穀米入りおにぎり、米(七分つき米)、もち米加工品、発芽玄米粉末、ソース(米こうじ加工品)、米粉麺、冷凍米飯、アイスマルク(米)、米粒麦
油	醤油漬、醤油、油揚げ、キュウリ醤油漬、揚げ油(米油)、油あげ、大根醤油漬、コメ油、白絞油、マグロ油漬、なたね油、エゴマ油、野菜醤油漬、醤油煮、醤油加工品、醤油漬(野沢菜)、高菜醤油漬、油菓子、油脂、米白絞油、椿油、いか人参醤油漬、ショウガ醤油漬、ナス醤油漬、野沢菜醤油漬(漬物)、味付油揚げ、野沢菜醤油漬、こいくち醤油、ゴボウ醤油漬、フキ油炒め、マグロ油漬フレーク、キクイモ醤油漬、カブ醤油漬、ウド醤油漬、野沢菜醤油漬(漬物)、醤油団子、ヤーコン醤油漬、油漬、サンマ醤油煮、醤油せんべい、瓶詰食品(野菜醤油漬)、長イモ醤油漬、フキノトウ醤油漬、食用コメ油、キュウリ等の醤油漬(漬物)、ワラビ醤油漬、大豆醤油漬、キュウリと人参の醤油漬、山菜醤油漬、かぶと山くらげの醤油漬、白菜醤油漬、しろ醤油、醤油漬(ナス)、菊と大根の醤油漬、アスパラガス醤油漬、フキと油揚げの煮物(惣菜)、油菓子(煎餅)、イカ・大根・こんぶの醤油漬、漬物(キュウリの醤油漬)、減塩醤油、醤油漬(キュウリ)、シソの実醤油漬、昆布醤油、醤油風調味料、青唐辛子醤油漬、米麴加工品(醤油糀)、ネギ醤油漬、ウド醤油漬(漬物)、ホイップクリーム(植物油と乳製品の加工品)、漬物(大根の醤油漬)、ヒマワリ油、醤油漬(たかな)、生姜醤油漬、錦糸瓜醤油漬、大豆油、野沢菜・にんじん・昆布の醤油漬(漬物)、醤油漬(シャクシ菜)、いくら醤油漬、カブ醤油漬(漬物)、大根醤油漬(漬物)、油揚、大根としその醤油漬(漬物)、野沢菜(醤油漬)、コゴミ醤油漬、漬物(山芋の醤油漬)、キュウリとにんにくの醤油漬

No (出現順)	品目名	小分類	小分類番号	キーワード 該当数	該当したキーワードの小分類番号					
					1個目	2個目	3個目	4個目	5個目	6個目
1	原乳	牛乳	71	1	71					
2	牛肉	牛肉	61	1	61					
3	味噌	味噌	96	1	96					
4	トウナ	#N/A	X	0						
5	サトイモ	その他のいも・加工品	15	1	15					
6	チンゲンサイ	その他の緑黄色野菜	29	1	29					
7	イチゴ	いちご	39	1	39					
8	菌床シイタケ	きのこ類	46	1	46					
9	ミニトマト	トマト	25	1	25					
10	サツマイモ	さつまいも・加工品	13	1	13					
11	ネギ	#N/A	X	0						
12	ズッキーニ	その他の淡色野菜	35	1	35					
13	ウド	その他の淡色野菜	35	1	35					
14	牛乳	#N/A	X	2	61	71				
15	乳飲料	#N/A	X	3	45	71	74			
16	ニラ	その他の緑黄色野菜	29	1	29					
17	ホウレンソウ	ほうれん草	27	1	27					
18	原木シイタケ(露地)	きのこ類	46	1	46					
19	菌床シイタケ(露地)	きのこ類	46	1	46					
20	フキノトウ	その他の淡色野菜	35	1	35					

Fig. 1 Microsoft® Excel®を用いた小分類番号の推定作業 (2012年度分の上位20品目)

Table 3 線量係数 (ICRP Pub.72 より) (単位: Sv/Bq)

	年齢区分				
	3 months	5 years	10 years	15 years	Adult
Cs-134	2.6E-08	1.3E-08	1.4E-08	1.9E-08	1.9E-08
Cs-137	2.1E-08	9.6E-09	1.0E-08	1.3E-08	1.3E-08

(単位: Sv/Bq)

Table 4 物理学的半減期で加重平均した各年度の放射性セシウムの線量係数 (DCF)

年後	年度	年齢区分				
		3 months	5 years	10 years	15 years	Adult
1	2012	2.31E-08	1.10E-08	1.17E-08	1.55E-08	<u>1.55E-08</u>
2	2013	2.27E-08	1.08E-08	1.14E-08	1.51E-08	1.51E-08
3	2014	2.24E-08	1.06E-08	1.11E-08	1.47E-08	1.47E-08
4	2015	2.21E-08	1.04E-08	1.09E-08	1.43E-08	1.43E-08
5	2016	2.19E-08	1.02E-08	1.07E-08	1.40E-08	<u>1.40E-08</u>
6	2017	2.17E-08	1.00E-08	1.05E-08	1.38E-08	1.38E-08
7	2018	2.15E-08	9.94E-09	1.04E-08	1.36E-08	1.36E-08
8	2019	2.14E-08	9.86E-09	1.03E-08	1.35E-08	1.35E-08
9	2020	2.13E-08	9.79E-09	1.02E-08	1.33E-08	1.33E-08
10	2021	2.12E-08	9.74E-09	1.02E-08	1.33E-08	1.33E-08
11	2022	2.12E-08	9.70E-09	1.01E-08	1.32E-08	1.32E-08
12	2023	2.11E-08	9.68E-09	1.01E-08	1.31E-08	1.31E-08
13	2024	2.11E-08	9.66E-09	1.01E-08	1.31E-08	1.31E-08
14	2025	2.11E-08	9.64E-09	1.00E-08	1.31E-08	1.31E-08
15	2026	2.10E-08	9.63E-09	1.00E-08	1.31E-08	1.31E-08
20	2031	2.10E-08	9.61E-09	1.00E-08	1.30E-08	1.30E-08
30	2041	2.10E-08	9.60E-09	1.00E-08	1.30E-08	1.30E-08
50	2061	2.10E-08	9.60E-09	1.00E-08	1.30E-08	1.30E-08
100	2111	2.10E-08	9.60E-09	1.00E-08	1.30E-08	1.30E-08

表中の二重罫線の値 (平成24年度、平成28年度) を本研究の線量計算に用いた。