

厚生労働行政推進調査事業費補助金
(食品の安全確保推進研究事業)

食品中放射性 Cs 濃度基準値の妥当性検証及び被ばく線量評価

分担研究報告

分担研究者 高橋 知之 (京都大学 複合原子力科学研究所)

研究協力者 福谷 哲 (京都大学 複合原子力科学研究所)

研究要旨

東電福島第一原子力発電所(福島原発)事故により環境へ放出された放射性物質の影響を受け、食品へ放射性物質による汚染が生じ、食品の摂取に伴う内部被ばくが懸念され、厚生労働省は平成 24 年 4 月以降、食品からの内部被ばく線量を年間 1 mSv として、導出された基準値を適用している。この基準値は、対象となる放射性 Cs 以外の核種(^{90}Sr 、 ^{106}Ru 、 Pu)については、 ^{137}Cs との放射能濃度比から、これらの核種の濃度を推定し、設定された。先行研究では、営農再開を予定している地域を含め福島県内で栽培された農産物について測定を行ったが、放射性 Cs 濃度は全て基準値以下で、Cs 以外の放射性物質濃度(主に ^{90}Sr)は大気圏核実験由来と考えられるものが多く、流通する様々な食品から放射性 Cs 以外には事故の影響は見られなかった。さらに、測定結果を用いて内部被ばくに対する寄与率の状況を確認し、食品摂取に伴う内部被ばく線量を計算したところ、保守的な条件であっても十分に年間 1 mSv を下回る結果が得られた。福島県内では営農再開する地域の拡大が行われているが、すべての地域で避難指示区域が解除された状況ではなく、解除された居住制限区域及び避難指示解除準備区域などであっても、食品摂取による内部被ばくに対する不安は未だに大きい。そこで、原発事故から 10 年が経過したことを踏まえ、福島県で栽培され流通している多種多様の農作物を評価対象として、作物中放射性 Cs レベルの測定値から、農作物摂取に起因する放射性 Cs による内部被ばく線量の評価を行った、また、作物中安定 Sr 濃度を測定し、これまでに得られた作物中 $^{90}\text{Sr}/\text{Sr}$ 比を用いて推定された作物中 ^{90}Sr 濃度を用いて、 ^{90}Sr による内部被ばく線量の評価もあわせて行った。

令和 3 年度は、福島県で人口が多く、放射性 Cs 沈着量が比較的高かった福島市周辺地域を対象とした。本評価において設定した年齢性別区分の中で、農作物摂取による放射性セシウムによる被ばく線量(^{134}Cs と ^{137}Cs の合計値)被ばく線量の推定結果が最も高かった年齢性別区分は【19 歳以上男子】で、その推定値は年間 0.0033 mSv であった。また、 ^{90}Sr による被ばく線量の推定結果が最も高かった年齢性別区分は【13-18 歳男子】で、その推定値は年間 0.00020 m Sv であった。いずれについても、介入線量レベルである年間 1 mSv を大幅に下回っていた。採取される山菜などの自生植物中放射性 Cs 濃度については、 ^{137}Cs 濃度が比較的高い可能性があり、このような食品については、濃度の平均化や摂取量の取り扱いによって被ばく線量評価結果が大きく変動することに留意する必要がある。

A. 研究目的

平成23年3月11日に発生した東日本大震災に起因する東京電力福島第一原子力発電所(福島原発)事故により、大量の放射性物質が大気及び海洋に放出された。この事故により放出された放射性核種による食品の摂取による内部被ばくが懸念され、厚生労働省は平成24年4月以降、食品からの内部被ばくを年間線量1 mSvとして導出された基準値を適用している。この基準値は、対象となる放射性Cs以外の核種(⁹⁰Sr、¹⁰⁶Ru及びPu)については、¹³⁷Csとの放射能濃度比から、これらの核種の濃度を推定し、設定された¹⁾。また、基準値の設定の際、規制対象核種以外の核種の影響に関しては、いずれも影響は小さいと結論づけられ、これまでに実施された本研究課題でも確認されている。

これまでに、本研究課題²⁾において、営農再開を予定している地域を含め福島県内で栽培された作物の放射性Csや⁹⁰Sr濃度を用いて、内部被ばく線量評価を実施してきた。その結果、保守的な条件であっても十分に1 mSv/年を下回る結果が得られた。

本研究では、分担研究1で測定された多種多様の作物中放射性Csレベルから、農作物摂取に起因する放射性Csによる内部被ばく線量の評価を行う。また、作物中安定Sr濃度を測定し、分担研究1において推定された作物中⁹⁰Sr濃度を用いて、⁹⁰Srによる内部被ばく線量の評価もあわせて行う。

A. 研究方法

1. 安定Sr濃度の測定

作物中の⁹⁰Sr濃度の推定のため、安定Sr濃度を測定する。測定試料は分担研究1で採取された作物のうち、作物に種類を考慮して、15試料を選択する。測定はICP質量分析装置(Plasma Quant MS, Analytik Jena)を用いて行い、濃度既知の標準溶液で検量線を作成し定量する。

2. 内部被ばく線量評価

食品摂取による内部被ばく線量は、各食品中放射性核種濃度に、当該食品の摂取量及び当該放射性核種の内部被ばく線量係数を乗じて、対象食品及び核種について合計することによって求めることができる。本研究では分担研究1において測定された放射性Cs濃度及び推定された⁹⁰Sr濃度を用いて、農作物の種類毎の被ばく線量を推定する。

なお、内部被ばく線量評価のための線量係数は、ICRP Publication No.72³⁾に記載されている経口摂取に係る内部被ばく線量係数を用いる(表1参照)。また、農作物の各種類後の摂取量は、基準値の設定において用いられた各年齢性別区分における、食品区分毎の食品摂取量¹⁾を用いる(表2参照)。

年齢区分「1-6歳」には5歳、「7-12歳」には10歳、「13-18歳」には15歳、「19歳以上」及び「妊婦」には成人の線量係数を用いる。なお、1歳未満は調整粉乳からの摂取量が大いことから、本評価からは除外する。また、基準値の設定における想定と同様に、当該放射性核種が含まれる食品は、摂取する食品の1/2と仮定する

なお、表2における「その他」には「キノコ類」等一部の農作物が含まれるが、「菓子類」、「酒類」、「嗜好飲料」、「調味料」等、農作物値でないものも多く含まれ、分担研究1の表5における「その他」と意味合いが異なるため、評価に用いないこととする。

B. 研究結果

1. 安定Sr濃度の測定

安定Sr濃度の測定に供した15試料の測定結果を表3に示す。この測定結果は分担研究1における⁹⁰Sr濃度の推定に用いられた。

2. 内部被ばく線量評価

内部被ばく線量評価に用いる¹³⁷Cs濃度及び⁹⁰Sr濃

度は、分担研究1において集計された、農作物の種類ごとの作物中 ^{137}Cs 平均濃度及び ^{90}Sr 平均濃度を用いる。(表4参照)。 ^{134}Cs 濃度については、ほとんどの試料において検出されなかったことから、全ての試料について、平成23年3月11日における $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能濃度比を1:1とし、令和2年9月30日における ^{134}Cs 濃度との比を算出し、 ^{137}Cs 濃度に乗じることによって推定する。

農作物の摂取に起因する ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 及び ^{90}Sr による年間内部被ばく線量推定値を、表5-1～表5-3に示す。ここで、「コメ」については精米による濃度変化を考慮せず、玄米中濃度を用いている。また、「穀類」は、小麦等が、測定試料として採取されていないことから、線量評価においては玄米中濃度を用いている。なお、合計については「穀類」を除いた場合もあわせて記載している。」

本評価において設定した年齢性別区分の中で、農作物摂取による ^{134}Cs による被ばく線量の推定結果が最も高かったのは【19歳以上男子】で、その推定値は年間0.00017mSvであった。 ^{137}Cs による被ばく線量の推定結果が最も高かった年齢性別区分は【19歳以上男子】で、その推定値は年間0.0031mSvであった。放射性セシウムによる被ばく線量(^{134}Cs と ^{137}Cs の合計値)被ばく線量の推定結果が最も高かった年齢性別区分は【19歳以上男子】で、その推定値は年間0.0033mSvであった。また、 ^{90}Sr による被ばく線量の推定結果が最も高かった年齢性別区分は【13-18歳男子】で、その推定値は年間0.00020mSvであった。いずれについても、介入線量レベルである年間1mSvを大幅に下回っていた。

C. 考察

1. 安定Sr濃度の測定

15試料の安定Sr濃度の生重量当たりの安定Sr濃度は $52\mu\text{g}/\text{kg}$ 生(ジャガイモ)～ $3200\mu\text{g}/\text{kg}$ 生(ゴ

ボウ)であり、その範囲は約2桁に及んでいる。根菜類は濃度が高い傾向が見られ、芋類は濃度が低い傾向が見られる。葉菜類は、作物によって濃度の幅が大きいと考えられる。

2. 内部被ばく線量評価

^{134}Cs による被ばく線量の推定結果が最も高かった年齢性別区分は【19歳以上男子】で、その推定値は年間0.00017mSvであった。半減期の5倍以上の期間が過ぎて物理的壊変が進んだことにより、 ^{137}Cs に比べて1/10以下であり、十分に低いレベルになっている。

^{137}Cs による被ばく線量の推定結果が最も高かった年齢性別区分は【19歳以上男子】で、その推定値は年間0.0031mSvであった。農作物の種類ごとに検討すると、年間、「穀類」と「コメ」の合計が0.0011mSv、「根菜類」が0.0012mSv、その他の種類の合計が0.00082mSvで、それぞれ合計の約1/3ずつとなっている。

「穀類」と「コメ」について、「穀類」の多くは輸入された小麦と考えられ、また国内産の麦類に占める福島県産の割合は極めて小さい⁴⁾。このため事故に起因する穀類の摂取による被ばく線量は極めて低いと考えられる。また、本評価では玄米中濃度を使用しているが、精米により放射性セシウム濃度は減少するため、白米を摂取した場合には被ばく線量は本評価よりも低くなる。

また、根菜類については、 $33\text{Bq}/\text{kg}$ 生と、比較的高い値を示したタケノコ(自生野菜として販売されていた可能性が高い)が含まれており、濃度の平均値が高くなったことが影響している。分担研究1で記されたように、採取される山菜などの自生植物中放射性Cs濃度については、 ^{137}Cs 濃度が比較的高い可能性があるが、このような食品は個人的嗜好等による摂取量の違いが大きいと考えられる。よって、このような食品につい

ては、濃度の平均化や摂取量の取り扱いによって被ばく線量評価結果が大きく変動することに留意する必要がある。本評価においてはタケノコを根菜類として濃度平均値を算出しているが、根菜類の試料数は6であり、実際の根菜類の摂取量に占めるタケノコの摂取量を考えると、過大評価となっている可能性が高いと考えられる。なお、実際に消費される食品はより広範囲の産地から購入されるため、被ばく線量は本評価値より低くなっていると考えられる。また、本評価では調理加工に伴う放射性セシウム濃度の減少は考慮していないが、調理加工によって実際に摂取する放射性セシウム濃度は減少する影響も考えられる。

^{90}Sr による被ばく線量の推定結果が最も高かった年齢性別区分は【13-18 歳男子】で、その推定値は年間 0.00020mSv であった。これまでの本研究課題²⁾において記述されているように、今回検出された ^{90}Sr の多くは大気圏核実験由来と考えられる。よって、事故由来の ^{90}Sr による被ばく線量はこの評価結果よりも十分に低いと考えられる。

E. 結論

本研究では、分担研究1で測定された多種多様の作物中放射性 Cs レベルから、農作物摂取に起因する放射性 Cs による内部被ばく線量の評価を行った。また、作物中安定 Sr 濃度を測定し、分担研究1において推定された作物中 ^{90}Sr 濃度を用いて、 ^{90}Sr による内部被ばく線量の評価もあわせて行った。

農作物摂取による放射性セシウムによる被ばく線量 (^{134}Cs と ^{137}Cs の合計値)被ばく線量の推定結果が最も高かった年齢性別区分は【19 歳以上男子】で、その推定値は年間 0.0033mSv であった。また、 ^{90}Sr による被ばく線量の推定結果が最も高かった年齢性別区分は【13-18 歳男子】で、その推定値は年間 0.00020mSv であった。いずれについても、介入線量レベルである年間 1 mSv を大幅に下回っていた。なお、福島原発

事故に起因する ^{90}Sr の寄与は極めて小さく、放射性 Cs 以外の放射性核種の寄与を安全側に考慮した放射性 Cs に対する基準値の算定値は、妥当であったと考えられる。

採取される山菜などの自生植物中放射性 Cs 濃度については、 ^{137}Cs 濃度が比較的高い可能性があるが、このような食品は個人的嗜好等による摂取量の違いが大きいと考えられる。よって、このような食品については、濃度の平均化や摂取量の取り扱いによって被ばく線量評価結果が大きく変動することに留意する必要がある。

F. 引用文献

- 1) 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資料(平成23年12月22日開催)(2011).
- 2) 明石真言:厚生労働行政推進調査事業費補助金(食品の安全確保推進研究事業)食品中の放射性物質濃度の基準値に対する放射性核種濃度比の検証とその影響評価に関する研究 平成 30-令和 2 年度総括・分担研究報告書 (2021).
- 3) ICRP: Publication 72(1996).
- 4) 総務省統計局:作物統計調査 作況調査(水陸稲、麦類、豆類、かんしょ、飼料作物、工芸農作物) 確報 令和2年産作物統計(普通作物・飼料作物・工芸農作物).

G. 研究業績

(学会発表)

1. H. Tsukada, T. Takahashi, S. Fukutani (2021) Activity concentrations of radiocaesium, ^{90}Sr and ^{129}I in agricultural crops collected from Fukushima and reference areas, and internal radiation dose (International Symposium 2021: Environmental Dynamics of Radionuclides and Biological Effects of Low

Dose-Rate Radiation, Aomori).

2. 塚田祥文、高橋知之、福谷哲 (2022) 作物
中放射性 Cs と ^{129}I 濃度、および摂取による内
部被ばく線量(第 8 回福島大学環境放射能
研究所成果報告会、福島)

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

I. 健康危険情報

なし

表1 評価に用いた内部被ばく線量係数(mSv/Bq)

放射性核種	5歳	10歳	15歳	成人
Cs-134	1.3E-05	1.4E-05	1.9E-05	1.9E-05
Cs-137	9.6E-06	1.0E-05	1.3E-05	1.3E-05
Sr-90	4.7E-05	6.0E-05	8.0E-05	2.8E-05

表2 食品区分ごとの平均1日摂取量(g/日)¹⁾

	1歳未満	1-6歳 【男子】	1-6歳 【女子】	7-12歳 【男子】	7-12歳 【女子】	13-18歳 【男子】	13-18歳 【女子】	19歳以上 【男子】	19歳以上 【女子】	妊婦
穀類	20.8	82.7	82.1	127.5	110.9	127.5	110.9	127.5	110.9	141.6
コメ	69.3	195.5	168.2	319.4	276.3	499.4	323.8	424.0	292.0	228.0
芋類	13.0	36.8	34.1	85.0	78.2	79.2	67.6	60.0	55.8	57.7
葉菜類	5.7	68.9	61.8	125.1	122.1	139.9	128.3	142.9	130.2	128.3
根菜類	4.5	37.0	35.2	69.3	67.9	77.1	68.4	85.2	78.1	67.1
豆類	10.0	29.1	28.4	66.0	63.0	64.4	61.9	64.3	61.7	48.4
果菜類	66.8	174.9	178.7	151.6	161.2	149.4	156.1	229.7	243.1	230.3
乳製品	22.0	52.6	47.4	28.0	35.4	25.8	35.5	30.6	38.9	47.3
牛肉	0.1	10.2	7.9	15.5	15.0	27.3	19.1	17.7	12.1	21.2
豚肉	0.7	36.8	31.6	51.4	42.5	68.0	50.5	46.6	36.1	43.8
鶏肉	2.0	14.1	14.1	23.6	23.2	39.1	30.7	22.1	16.2	21.7
鶏卵	2.9	28.0	24.3	35.5	32.1	51.4	47.4	39.6	34.5	39.2
淡水産物	3.0	3.2	3.5	5.2	4.7	6.1	5.5	9.4	7.6	4.5
海産物	9.7	38.0	39.5	75.9	67.1	82.3	71.9	111.1	89.9	53.6
その他*	22.6	292.9	310.0	395.2	331.6	398.5	332.7	623.8	374.0	533.6
牛乳	5.8	159.7	139.2	308.2	259.9	216.2	152.2	82.3	87.0	100.2
調製粉乳(粉状)	114.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
摂取量合計	372.9	1260.4	1206.0	1882.4	1691.1	2051.6	1662.5	2116.8	1668.1	1766.5

* その他にはキノコ類、菓子類、酒類、嗜好飲料、調味料等が含まれる

表3 作物中安定Sr濃度測定値

試料番号	作物	種類	μg/kg 乾燥		μg/kg 生	
2021-P12	アスパラガス	葉菜類	1486	± 60	97	± 4
2021-P14	ハウレンソウ	葉菜類	5979	± 145	505	± 12
2021-P17	コマツナ	葉菜類	21266	± 1182	1502	± 83
2021-P19	タマネギ	葉菜類	3744	± 109	271	± 8
2021-P28	インゲン	果菜類	7249	± 165	478	± 11
2021-P34	トマト	果菜類	2897	± 34	236	± 3
2021-P36	ジャガイモ	芋類	404	± 7	87	± 2
2021-P37	ジャガイモ	芋類	272	± 10	52	± 2
2021-P39	ズッキーニ	果菜類	6006	± 188	238	± 7
2021-P40	ソラマメ(豆)	豆類	1005	± 19	345	± 6
2021-P44	ダイコン	根菜類	15222	± 413	511	± 14
2021-P49	ゴボウ	根菜類	15723	± 211	3200	± 43
2021-P78	エダマメ	豆類	3571	± 102	939	± 27
2021-P96	玄米	玄米	451	± 14	394	± 13
2021-P100	玄米	玄米	413	± 12	365	± 10

表 4 種別農作物中 ^{137}Cs 平均濃度及び ^{90}Sr 平均濃度 (Bq/kg-生重量)

種類	^{137}Cs	^{90}Sr
玄米	0.83	0.009
芋類	0.71	0.002
葉菜類	0.64	0.015
根菜類	5.93	0.046
豆類	0.86	0.016
果菜類 (果実類を含む)	0.67	0.008

表 5-1 農作物摂取に伴う ^{134}Cs からの年間内部被ばく線量推定値 (単位:mSv/y)

	1-6歳 【男子】	1-6歳 【女子】	7-12歳 【男子】	7-12歳 【女子】	13-18歳 【男子】	13-18歳 【女子】	19歳以上 【男子】	19歳以上 【女子】	妊婦
穀類	6.0E-06	5.9E-06	9.9E-06	8.6E-06	1.3E-05	1.2E-05	1.3E-05	1.2E-05	1.5E-05
コメ	1.4E-05	1.2E-05	2.5E-05	2.1E-05	5.3E-05	3.4E-05	4.5E-05	3.1E-05	2.4E-05
芋類	2.3E-06	2.1E-06	5.6E-06	5.2E-06	7.1E-06	6.1E-06	5.4E-06	5.0E-06	5.2E-06
葉菜類	3.8E-06	3.4E-06	7.5E-06	7.3E-06	1.1E-05	1.0E-05	1.2E-05	1.1E-05	1.0E-05
根菜類	1.9E-05	1.8E-05	3.8E-05	3.8E-05	5.8E-05	5.1E-05	6.4E-05	5.9E-05	5.0E-05
豆類	2.2E-06	2.1E-06	5.3E-06	5.1E-06	7.0E-06	6.8E-06	7.0E-06	6.7E-06	5.3E-06
果菜類	1.0E-05	1.0E-05	9.5E-06	1.0E-05	1.3E-05	1.3E-05	2.0E-05	2.1E-05	2.0E-05
合計	5.8E-05	5.4E-05	1.0E-04	9.5E-05	1.6E-04	1.3E-04	1.7E-04	1.4E-04	1.3E-04
合計 (穀物を除く)	5.2E-05	4.8E-05	9.1E-05	8.7E-05	1.5E-04	1.2E-04	1.5E-04	1.3E-04	1.1E-04

表 5-2 農作物摂取に伴う ^{137}Cs からの年間内部被ばく線量推定値 (単位:mSv/y)

	1-6歳 【男子】	1-6歳 【女子】	7-12歳 【男子】	7-12歳 【女子】	13-18歳 【男子】	13-18歳 【女子】	19歳以上 【男子】	19歳以上 【女子】	妊婦
穀類	1.2E-04	1.2E-04	1.9E-04	1.7E-04	2.5E-04	2.2E-04	2.5E-04	2.2E-04	2.8E-04
コメ	2.8E-04	2.4E-04	4.8E-04	4.2E-04	9.8E-04	6.4E-04	8.4E-04	5.8E-04	4.5E-04
芋類	4.6E-05	4.2E-05	1.1E-04	1.0E-04	1.3E-04	1.1E-04	1.0E-04	9.4E-05	9.7E-05
葉菜類	7.7E-05	6.9E-05	1.5E-04	1.4E-04	2.1E-04	1.9E-04	2.2E-04	2.0E-04	1.9E-04
根菜類	3.8E-04	3.7E-04	7.5E-04	7.4E-04	1.1E-03	9.6E-04	1.2E-03	1.1E-03	9.4E-04
豆類	4.4E-05	4.3E-05	1.0E-04	9.9E-05	1.3E-04	1.3E-04	1.3E-04	1.3E-04	9.9E-05
果菜類	2.1E-04	2.1E-04	1.9E-04	2.0E-04	2.4E-04	2.5E-04	3.7E-04	3.9E-04	3.7E-04
合計	1.2E-03	1.1E-03	2.0E-03	1.9E-03	3.0E-03	2.5E-03	3.1E-03	2.7E-03	2.4E-03
合計 (穀物を除く)	1.0E-03	9.8E-04	1.8E-03	1.7E-03	2.8E-03	2.3E-03	2.8E-03	2.5E-03	2.2E-03

表 5-3 農作物摂取に伴う ^{90}Sr からの年間内部被ばく線量推定値 (単位:mSv/y)

	1-6歳 【男子】	1-6歳 【女子】	7-12歳 【男子】	7-12歳 【女子】	13-18歳 【男子】	13-18歳 【女子】	19歳以上 【男子】	19歳以上 【女子】	妊婦
穀類	6.4E-06	6.3E-06	1.3E-05	1.1E-05	1.7E-05	1.5E-05	5.9E-06	5.1E-06	6.5E-06
コメ	1.5E-05	1.3E-05	3.1E-05	2.7E-05	6.6E-05	4.3E-05	2.0E-05	1.3E-05	1.0E-05
芋類	6.3E-07	5.9E-07	1.9E-06	1.7E-06	2.3E-06	2.0E-06	6.1E-07	5.7E-07	5.9E-07
葉菜類	8.9E-06	8.0E-06	2.1E-05	2.0E-05	3.1E-05	2.8E-05	1.1E-05	1.0E-05	9.8E-06
根菜類	1.5E-05	1.4E-05	3.5E-05	3.4E-05	5.2E-05	4.6E-05	2.0E-05	1.8E-05	1.6E-05
豆類	4.0E-06	3.9E-06	1.2E-05	1.1E-05	1.5E-05	1.4E-05	5.3E-06	5.0E-06	4.0E-06
果菜類	1.2E-05	1.2E-05	1.3E-05	1.4E-05	1.7E-05	1.8E-05	9.4E-06	9.9E-06	9.4E-06
合計	6.2E-05	5.8E-05	1.3E-04	1.2E-04	2.0E-04	1.7E-04	7.2E-05	6.2E-05	5.7E-05
合計 (穀物を除く)	5.5E-05	5.2E-05	1.1E-04	1.1E-04	1.8E-04	1.5E-04	6.6E-05	5.7E-05	5.0E-05

