

# 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)

## 食品中の放射性核種濃度に関する研究 分担研究報告

分担研究者 青野 辰雄 (放射線医学総合研究所)

### 研究要旨

平成 23 年 3 月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 (FDNPS) 事故によって大量の放射性物質が施設外の環境へ放出されたことにより、食品の摂取による内部被ばくが懸念された。このため、厚生労働省は、平成 24 年 4 月以降は、食品の摂取による介入線量レベルを年間 1mSv とし、新たな基準値を適用した。

新たな基準は、放射性セシウム (Cs) 濃度について基準値を設定し、ストロンチウム-90 ( $^{90}\text{Sr}$ )、ルテニウム-106 ( $^{106}\text{Ru}$ ) およびプルトニウム-238 ( $^{238}\text{Pu}$ )、プルトニウム-239 ( $^{239}\text{Pu}$ )、プルトニウム-240 ( $^{240}\text{Pu}$ ) およびプルトニウム-241 ( $^{241}\text{Pu}$ ) については、放射性 Cs との濃度比を推定することにより、その線量への寄与を考慮している。その寄与率は、環境モニタリングや環境移行パラメータにより推定されており、また放射性 Cs 以外の  $^{90}\text{Sr}$  などに対する内部被ばくの不安は依然として大きいことから、食品中の放射性核種濃度を測定することにより、安全が担保されていることを検証することが必要不可欠である。

これまで海産物について調査を行ってきたが、海産物に比べて出荷制限の水産物が多い淡水魚に着目し、福島県内で養殖している水産物入手し、これら試料の測定を行ったところ、セシウム-137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) 濃度が 10Bq/kg-生重量を超えた試料はなかった。

### A. 研究目的

新たな基準は、放射性セシウム (Cs) 濃度について基準値を設定し、ストロンチウム-90 ( $^{90}\text{Sr}$ )、ルテニウム-106 ( $^{106}\text{Ru}$ ) およびプルトニウム-238 ( $^{238}\text{Pu}$ )、プルトニウム-239 ( $^{239}\text{Pu}$ )、プルトニウム-240 ( $^{240}\text{Pu}$ ) およびプルトニウム-241 ( $^{241}\text{Pu}$ ) については、放射性 Cs との濃度比を推定することにより、その線量への寄与を考慮している。そこで食品中の放射性核種濃度の基準値を策定する際に

推定された放射性 Cs の線量への寄与率について、その妥当性を確認するために実施するものである。

福島沖の海産物の放射性物質濃度のモニタリングでは、95%以上の水産物で放射性 Cs 濃度が検出下限値 (約 10Bq/kg-生) 以下となっている。一方で、内陸の淡水魚に関しては依然、広域で出荷制限されている魚種が多い<sup>1)</sup>。これは海水魚に比べて淡水魚は浸透圧が低いために、生息環

境中の影響を受けやすい状況にある。そこで、淡水産物中の部位毎の放射性核種の濃度比を明らかにすることを目的に、福島県内で養殖されている魚類を入手し、「食品中の放射性物質の濃度に関する研究」を実施した。

## B.研究方法

### 1.水産物中の放射性物質の濃度測定

#### 1.1. 調査協力と試料入手

本研究で対象とする水産物は、福島県内で養殖、調理加工され、市場に流通する水産物とした。福島県内水面試験場の協力を得て情報収集<sup>1)</sup>を行い、平成30年2月に福島県の養殖業者から購入した。入手した魚類(鯉)について、採取日(平成30年2月15日)、測定に使用した試料毎の計測を行い、平均全長、体重および各部位(可食部、内臓部とアラ部)に分割後の重量等の情報を表1に示す。

#### 1.2. $\gamma$ 核種の濃度の測定

魚類は、個体毎のばらつきを確認するために、体液等のドリップによる損失が少ないように速やかに、可食部(筋肉部)、内臓部とアラ部(皮、骨、鰓、頭、尾等の可食部および内臓部以外)に分割し、個体毎に冷凍保存した。可食部、アラ部および内臓部について、乾燥を行い、ミキサー等で粉砕後に乾燥試料とした。乾燥率(生重量に対する乾燥重量の割合)は23~53%であった。これを次に電気炉を用いて450度で灰化試料の作製を行った。生重量に対する灰化率は1~5%であった。可食部、内臓部、アラ部の灰試料をU8容器またはチューブに詰めて、Canberra社製低バックグラウンドGe半導体検出器(GX2019)を用いて、24時間以上の $\gamma$ 核種の測定を行った。Ge半

導体検出器は、日本アイソトープ協会製の標準体積線源(5~50mm、9.5~95g、アルミナ)を用いて効率曲線を作成したものをを用いた。セシウム-134 ( $^{134}\text{Cs}$ )(604.7 keV および 796keV の加重平均値)、セシウム-137 ( $^{137}\text{Cs}$ )(661.7 keV)およびカリウム-40 ( $^{40}\text{K}$ )(1460 keV)の定量結果を記録した。 $^{134}\text{Cs}$  は複数のエネルギーで検出されるために、これまでガンマ線放出率が最も高い 604.7 keV (97.62%) の定量結果を用いてきた。しかし、796keV のガンマ線放出率(85.5%)も他のガンマ線エネルギーより高いことから、この2つのエネルギーで検出された定量結果を加重平均したものが望ましいため<sup>2)</sup>、昨年度と同様に、この計算方法を用いた。なお $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  および $^{40}\text{K}$  以外の $\gamma$ 核種は計測されなかった。 $^{134}\text{Cs}$  および $^{137}\text{Cs}$  の検出下限値は、概ね 1 Bq/kg-生重量であった(試料重量が少ない場合は検出下限値が高くなる)。また安定元素の摂取量を利用する事による内部被ばく線量評価を行うため、安定元素のKとCaはICP発光分光分析装置で、SrとCsはICP質量分析装置を用いて、既知濃度の標準溶液で検量線を作成し、定量した。それらの測定結果を表2に示す。

## C. 研究結果

### 1.水産物中の放射性物質の濃度測定

平成29年に入手した水産物中の放射性Csおよび $^{40}\text{K}$ 濃度測定の結果を表2に示した。各部位の平均値は、検出された値を用いて、加重平均したものである。

養殖鯉は、全長47-48 cm、体重1.9-2.0 kgであった。 $^{134}\text{Cs}$ は内臓部では検出されず、アラ部では1検体のみ、 $^{134}\text{Cs}$ 濃度(Bq/kg-生重量)が1.8であった。可食部中の $^{134}\text{Cs}$ 濃度(Bq/kg-生重量)

は0.12-0.31(平均値0.18、n=4)であった。 $^{137}\text{Cs}$ 濃度(Bq/kg-生重量)は、可食部で1.2-2.6(平均値1.6、n=4)、アラ部で0.12-15.8(平均値3.93、n=4)および内臓部で0.3-0.8(平均値0.47、n=4)であった。 $^{134}\text{Cs}$ と $^{137}\text{Cs}$ が検出された可食部とアラ部(1検体)の $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能濃度比は0.11-0.12で、これはFDNPS事故由来であった。内臓部では $^{137}\text{Cs}$ 濃度が低いために、検出された $^{137}\text{Cs}$ がFDNPS事故由来か判断することはできなかった。アラ部の高い $^{137}\text{Cs}$ 濃度は周辺環境からの影響と考えられる。 $^{40}\text{K}$ 濃度(Bq/kg-生重量)は、可食部110-117(平均値115、n=4)、アラ部11.3-14.9(平均値12.2、n=4)および内臓部62.9-86.0(平均値67.1、n=4)であった。 $^{137}\text{Cs}$ 濃度および $^{40}\text{K}$ 濃度は、アラ部(1検体を除き)や内臓に比べて可食部で高い傾向を示した。今回調査した魚種の生重量について魚全体の重量からその割合を比較すると、それぞれ可食部37%、アラ部49%と内臓部14%であった。各部位とも乾燥率(乾燥重量/生重量)は20-50%であったが、灰化率(灰重量/生重量)は可食部と内臓部が1%に対してアラ部は4%以上であった。これはアラ部には有機物よりも骨格部分が多いため灰試料中にCaが残ったことが要因と考えられる。食品中の放射性物質のモニタリングでは水産物の場合にはシラス以外の魚類は可食部(筋肉部)の測定を行う。IAEAでは可食部中 $^{137}\text{Cs}$ 濃度から魚全体の $^{137}\text{Cs}$ 濃度を評価するための換算係数は1としている。今回、アラ部の $^{137}\text{Cs}$ 濃度が0.2 Bq/kg-生重量の3個体について計算した結果、0.46-0.54であった。

#### D. 考察

今回の試料から、食品中の放射性物質濃度100Bq/kg-生重量の基準値を超える試料はなく、

採取した魚種の可食部については、 $^{134}\text{Cs}$ 濃度は検出下限値以下または検出下限値に近い濃度であった。各部位ごとの $^{137}\text{Cs}$ 濃度および $^{40}\text{K}$ 濃度(Bq/kg-生重量)から、各部位の生重量を加味した養殖鯉1匹あたりの放射性濃度を求めたところ、 $^{137}\text{Cs}$ 濃度0.5-8.5と $^{40}\text{K}$ 濃度56.1-62.7であった。試料1では他の4試料と比べて可食部と内臓部において放射性Cs濃度が高い傾向にあった。アラ部中の濃度は低く、可食部や内臓部濃度は高い傾向にあった。これはアラ部に比べて可食部や内臓部は軟組織であることが原因と考えられる。可食部中 $^{137}\text{Cs}$ 濃度から魚全体の $^{137}\text{Cs}$ 濃度を評価するための換算係数は約0.5であった。これは魚種により各部位の $^{137}\text{Cs}$ 濃度と重量割合が異なるためこのような結果が得られたと考えられる。

安定元素のCaとSr濃度はアラ部で高い傾向にあった。K/CsとCa/Sr濃度比は部位や個体による大きな差は認められなかった。安定元素の濃度比を利用した濃度推定が可能であることが示唆された。

#### E. 結論

福島県内の養殖鯉中の放射性Cs、 $^{40}\text{K}$ および安定元素濃度を測定した。養殖鯉1匹中の放射性Cs濃度は、0.5-8.5 Bq/kg-生重量の濃度範囲であり、食品中の基準値を超えた試料はなく、本事故による影響は確認できなかった。

#### 引用文献

- 1) 福島県: 内水面の採捕・出荷資源等の措置一覧  
<http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/261033.pdf>

- 2) 米沢 仲四郎:Ge 検出器- $\gamma$  線スペクトロメ  
リーによる玄米認証標準物質中  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$   
及び  $^{40}\text{K}$  の分析-第 1 部 放射能濃度の定  
量-. 分析化学 65, 645-655, 2016.

H. 知的財産権の出願・登録状況  
なし

#### G.研究業績

1. 青野 辰雄, 原子力安全基盤科学3 放射線  
防護と環境放射線管理, 高橋千太郎編、  
p.176-182, 京都大学学術出版、2017.
2. 青野 辰雄, 高橋 知之, 福谷 哲, 塚田 祥  
文, 福田 美保, 山崎 慎之介, 明石 真言,  
食品中の放射性セシウム濃度と基準値に対  
する影響, Proceedings of the Workshop on  
Environmental Radioactivity (KEK Proceedings),  
p.253-256, 2017.
3. T. Aono, TEPCO Fukushima NPP accident-4:  
Foodstuffs, Tatsuo Aono, NIRS-KIRAMS Training  
Course on Radiation Emergency Medicine for Korean  
Medical Professionals 2017, NIRS, KIRAMS, 2017-  
04-26.
4. Tatsuo Aono, Overview of marine environment after the  
Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident:  
Environmental radioactivity and radiation effects, 第  
32 回台日工程技術研討会, 中國工程師學會,  
2017-11-22.
5. T. Aono, M. Akashi, M. Fukuda, S. Yamazaki, S. K.  
Sahoo, RADIOACTIVE MATERIAL  
CONTAMINATION IN FOOD AFTER THE  
FUKUSHIMA NUCLEAR POWER STATION  
ACCIDENT, International Conference on Radiation  
Research: Impact on Human Health and Environment  
(ICRR-HHE 2018) and 2nd Biennial Meeting of  
Society for Radiation Research (SRR), The Society for  
Radiation Research, 2018-02-02.

表 1 福島県産養殖鯉の体長、重量と各部位別重量について

番号	全長 cm	体重 g	筋肉 g	アラ g	内臓 g
1	48	1980	711.3	899.8	332.4
2	47	1860	708.8	898.9	215.1
3	48	1925	716.5	936.8	256.6
4	47	1997	713.2	990.6	243.9

表 2 福島県産養殖鯉の部位(可食部、アラ部および内臓部)中の放射性核種濃度と安元元素濃度について

可食部

番号	Cs-134		Cs-137		K-40		Ca	K	Sr	Cs
	Bq/Kg-wet	±error	Bq/Kg-wet	±error	Bq/Kg-wet	±error	mg/Kg-wet	mg/Kg-wet	mg/Kg-wet	μg/Kg-wet
1	0.31	0.01	2.55	0.04	114.4	1.0	0.34	3.39	0.52	33.89
2	0.15	0.02	1.26	0.04	117.1	1.2	0.31	3.56	0.46	41.28
3	0.16	0.01	1.54	0.03	110.8	0.9	0.26	3.21	0.34	33.93
4	0.12	0.01	1.18	0.03	116.0	0.9	0.37	3.24	0.55	34.53
平均値	0.18		1.63		114.6		0.32	3.35	0.47	35.90

アラ部

番号	Cs-134		Cs-137		K-40		Ca	K	Sr	Cs
	Bq/Kg-wet	±error	Bq/Kg-wet	±error	Bq/Kg-wet	±error	mg/Kg-wet	mg/Kg-wet	μg/Kg-wet	μg/Kg-wet
1	1.78	0.02	15.79	0.06	11.69	0.21	17.52	1.94	24.83	19.26
2	< 0.02		0.19	0.01	12.69	0.18	13.73	1.82	23.31	22.80
3	< 0.02		0.18	0.01	11.35	0.2	19.77	1.44	29.61	20.15
4	< 0.02		0.12	0.01	14.90	0.19	5.83	2.29	9.31	26.65
平均値	-		3.93		12.22		15.47	1.87	23.61	22.26

内臓部

番号	Cs-134		Cs-137		K-40		Ca	K	Sr	Cs
	Bq/Kg-wet	±error	Bq/Kg-wet	±error	Bq/Kg-wet	±error	mg/Kg-wet	mg/Kg-wet	μg/Kg-wet	μg/Kg-wet
1	< 0.1		0.47	0.03	63.1	1.0	0.07	3.03	0.07	15.94
2	< 0.1		0.82	0.06	86.0	1.6	0.06	2.16	0.05	18.58
3	< 0.1		0.38	0.02	62.9	0.9	0.08	2.34	0.07	15.09
4	< 0.1		0.30	0.03	70.0	1.3	0.19	3.57	0.31	18.96
平均値	-		0.47		67.1		0.09	2.80	0.11	16.72