

# 繁殖和牛生体からの「と体」筋肉中放射性セシウム濃度の推定

Presuming techniques of radiocesium concentration in muscle for beef cattle

福島県農業総合センター畜産研究所 古閑文哉 石川雄治 内田守譜 白石芳雄 遠藤孝悦<sup>1</sup>  
 東北大学電子光理学研究センター 大槻 勤<sup>2</sup>  
 福島大学理工学類 河津賢澄 高瀬つぎ子  
 株式会社コムテックエンジニアリング 立谷辰雄 菅原裕利  
 日本環境調査研究所 村山 敏 茂木道教 泉 雄一  
 株式会社ラド・ソリューションズ 石橋寿永

<sup>1</sup>現南会津農林事務所 <sup>2</sup>現京都大学原子炉実験所

牛の生体外部からNaI検出器を用い非破壊的に放射性セシウム (Cs) 濃度を測定することにより、「と体」筋肉の放射性Cs濃度を効率的かつ簡易に推定する装置の開発を目指した。その結果、開発した装置による推定値と実際の筋肉中放射性Cs濃度との相関は高く、筋肉中の放射性Cs濃度を精度よく推定することが可能となった。

キーワード：放射性セシウム濃度、筋肉中、NaI検出器、繁殖和牛

## 1 緒言

東京電力福島第一原子力発電所の事故後、福島県では、放射性Csによる畜産物等への汚染が深刻な問題となっている。とりわけ繁殖和牛については、牛用飼料の新たな暫定許容値が施行（平成24年4月1日）される前までは、放射性Cs 3,000Bq/kg以下の飼料給与が許されていた。そのため出荷に当たっては、当該出荷予定農家の飼養管理状況を確認しながら、同時に、血液検査により筋肉中の放射性Cs濃度を推定した後、出荷を許可している状況であった。しかしながら、数千頭を対象とする現状においては、ゲルマニウム半導体検出器（以下Ge半導体検出器）の台数が限られているために、血液からの汚染度の推定には検査に時間がかかり、廃用繁殖和牛が滞留する期間が長くなるなど農家に更なる経営的負担を強いることとなっていた。

このため、食品の新基準値100Bq/kg値以下をクリアし、迅速かつ正確に繁殖和牛の出荷時期を特定するため、①生体外部から筋肉中の放射性Cs濃度の簡易な推定技術および可搬式の牛用体内放射性Cs濃度測定装置の開発を目標とした。

## 2 目指す開発装置とその課題

### (1) 目指す開発装置

開発装置は、農家の庭先まで運搬が可能で、Ge半導体検出器と同等な精度を持ち、現地で筋肉中放射性Cs濃度を推定し、スクリーニング検査結果を伝えることができるものを目指した。

推定の原理は、同じ条件の下で、測定対象牛と非汚染牛を測定し、その差し引きにより汚染量を推定するものとした。

### (2) 製作に向けての課題

装置製作にあたって、以下の課題があった。

- ①牛は、人間のように装置内でおとなしくしていない。
- ②非汚染牛であっても、農家に他の牛を連れて行くのは、防疫上の問題がある。
- ③屋外の空間線量率を如何に低減するか。
- ④牛のどの部位を、どのように測定するか。

以上の課題を解決し、装置の開発を目指した。

## 3 開発装置の構成

### (1) 保定柵場の製作

①の課題解決に向け、牛の削蹄用柵場を参考に、まず単管足場材を用いて保定柵場のプロトタイプを製作した。現地試験の測定の都度に問題の抽出を行い、測定牛の四肢が装置から落ちないように床面を拡大、また繁殖和牛が装置内で動いても傷つかぬよう、肩部をハの字に窄め、腰部は、古タイヤで緩衝対策等の改良を施し、保定柵場を完成した（写真1）。また、装置内で暴れる繁殖和牛については、牛用ハミを利用することで対応した。

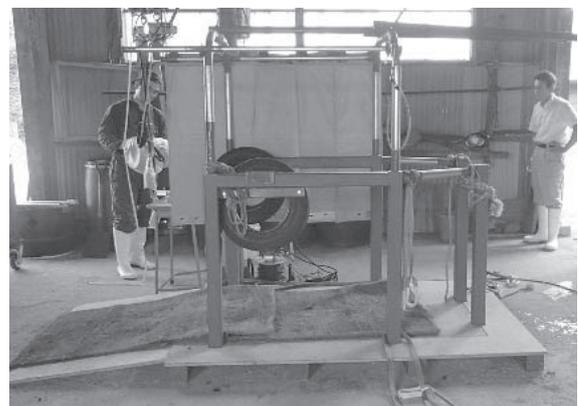


写真1 完成した保定柵場

(2) ファントムの製作

牛を農家に持ち運ぶのは、防疫上の観点から問題があるため、非汚染牛の代わりに、牛を模したファントムを製作することとした。ファントムは、対象物である繁殖和牛の体型を極力模して作成した方がよいが、繁殖和牛の体型を模した模型の作製は膨大な経費がかかる。牛の四肢、首を除けば、ドラム缶体型となるため、平均的な繁殖雌牛の体型（腰角幅 52.0 cm、38 ヶ月齢）を参考<sup>1)</sup>に、口径 52.1 φ cm、全高 88 cm のポリドラム缶を用いて製作した。

また、平成 23 年 7 月以降、農家は、自給飼料から購入飼料に飼料を切り替えており、汚染されている繁殖和牛が、ほとんどいないため、開発装置の検量線を作成用として、25、55、100、120Bq/kg 程度に調整した 4 種類のファントムを製作した（写真 2）。製作した各ファントムの中身を Ge 半導体検出器にて放射性 Cs 濃度を測定した結果を表 1 に示す。



写真2 水のみのファントムを含む5種類のファントム

表1 各ファントム内容物の放射性セシウム濃度

ファントム名	(Bq/kg)		
	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs + <sup>137</sup> Cs
ファントム25	8.36 ± 0.6	16.2 ± 0.9	24.6 ± 1.1
ファントム55	17.7 ± 1.3	33.4 ± 1.7	51.1 ± 2.2
ファントム100	35.4 ± 3.9	70.7 ± 5.3	106.1 ± 6.6
ファントム150	42.9 ± 1.9	78.5 ± 2.6	121.4 ± 3.2

Ge半導体検出器による測定。  
数値は平均値±標準誤差。

(3) 遮蔽体の製作

A コリメータの製作

空間線量率を低減すること及び放射線の入射角を限定するため、NaI 検出器を覆うコリメータを製作した。コリメータの中は、30mm 程度の厚さの鉛が溶かし込んであり、測定対象部位からのγ線を測定することができる（写真 3）。

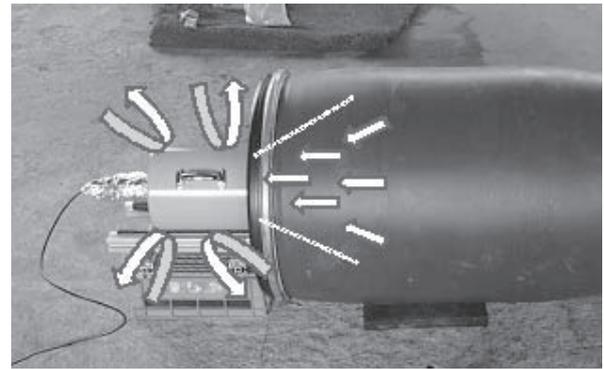


写真3 コリメータを装着したNaI検出器

B 遮蔽体の製作

遮蔽体の素材については、遮蔽効果が高く、加工がしやすい鉛を用いた。鉛は比重が大きいため、牛の保定柵場に設置することを考慮し、1枚の重量を1人の力で持ち運ぶことが可能な10kg程度として、幅30cm×長さ100cm×厚さ4mmの遮蔽体を作成した（写真4）。

同じ空間線量率下で、遮蔽体を保定柵場に装着し、装着前と装着時のファントムのネットカウントで、遮蔽効果を検討した（表2）。

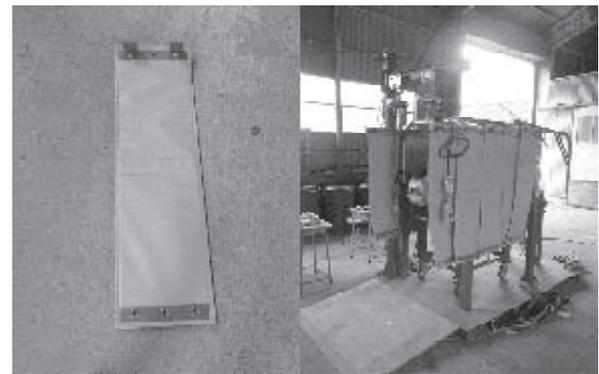


写真4 作成した遮蔽体

表2 遮蔽体による空間線量の影響軽減効果

放射性核種	γ線スペクトル (cps)		γ線スペクトル減少率 (%)
	遮蔽体あり	遮蔽体なし	
<sup>134</sup> Cs	168.9	235.0	28.1
<sup>137</sup> Cs	89.3	135.9	34.3

(4) 測定部位及び測定方法

A 測定部位

現在、牛筋肉のモニタリングは、商品価値が低く、と体時に採取しやすい首肉を測定している。本来、モニタリング部位を体表から測定することが最も適していると考えられるが、繁殖雌牛の首は薄く、外部空間線量率の影響を受けやすいこと、また首はよく動きやすく測定データにバラツキが生じることが予測されたため、他の部位を選定する必要があった。当研究所内で、警戒区域内で採取した首肉

と腿肉との放射性Cs濃度の比較においては、ほぼ変わらない、ないしは、腿肉の方がやや高い傾向にあったため、牛の後躯部分を測定部位とした。

また、後躯部のどこを測るかに関しては、遮蔽体を吊す部分、作業性等を考慮して尻部とした。



写真5 測定部位

## B 測定方法

### (A) NaI 検出器の比較

NaI 検出器は、2 インチ、2.5 インチ、5 インチ NaI 検出器で比較検討した。どの検出器が最も優れているか試験をする必要があったので、空間線量率 0.06  $\mu$  Sv/h、ファントムを 1800 秒、対象牛を 600 秒測定したときの各検出器の検出限界濃度を比較した (図 1)。検量線は、4 (1) で作成したものを用いた。

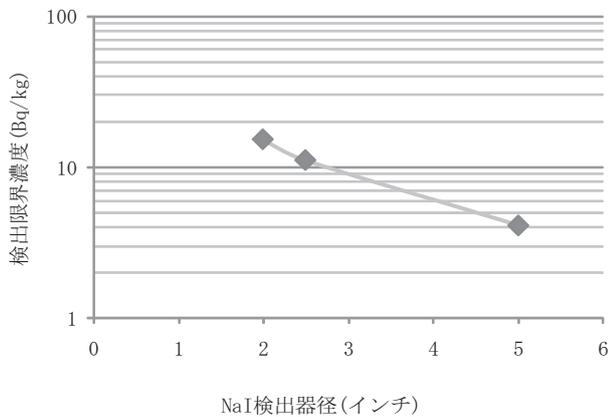


図1 NaI口径と検出限界濃度

検出限界濃度は3 $\sigma$ 法による

各検出器とも食品のスクリーニング法<sup>2)</sup>で定められた検出限界濃度 25Bq/kg以下が確保された。しかしながら、測定時間の短縮や精度の高さが今後要求されると考えられ、本装置は、5 インチ NaI 検出器を用いることに決定した。

### (B) コリメータ付き NaI 検出器の可動

コリメータ付き NaI 検出器の可動方法については、当初台車に搭載して移動させるなど種々検討した結果、選択した 5 インチ NaI 検出器が、総重量 80 kg とかなり重量がある

ため、吊り上げ、吊り下ろしの際の安全性と作業時間の短縮を考慮し、保定枠と一体化したジブクレーン型とした (写真 6)。これに遮蔽体を組み合わせて、目標としていた開発装置が完成した (写真 7)。



写真6 コリメータ付きNaI検出器の可動方法



写真7 完成した開発装置

## 4 開発装置の性能

### (1) 検量線の作成

3 (2) で製作した 4 種類のファントムの測定結果から牛体内放射性Cs濃度を推定するための検量線を作成した。データ解析に用いたソフトは以下のとおりである。

- a スペクトル分析: Gamma Studio DS-P600 (SEIKO EG&G)
- b ピーク面積の解析: Code Fukushima (仁木工芸株式会社・株式会社スカラベ・コーポレーション)
- c データの加工: Microsoft Excel 2010

5 インチ NaI 検出器で、各ファントムの $\gamma$ 線スペクトルを測定した (図 2)。これを Code Fukushima にてピーク面積解析を行い (図 3)、そのピーク面積 (cps) と Ge 半導体検出器で測定した各ファントムの放射性 Cs 濃度から検量線を作成した。

検量線は、5 インチ NaI 検出器のネットカウントの誤差で重み付けし、最小二乗法による回帰分析を行い作成した。<sup>137</sup>Cs 及び <sup>134</sup>Cs の各回帰式は、 $y=0.13x \cdot R^2=0.99$ 、 $y=0.13x \cdot R^2=0.99$  であり高い相関が得られた (図 4)。

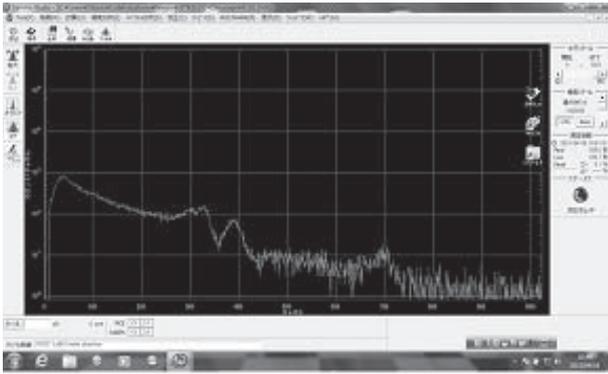


図2 ファントムのスペクトルデータ (Gamma Studio DS-P600)

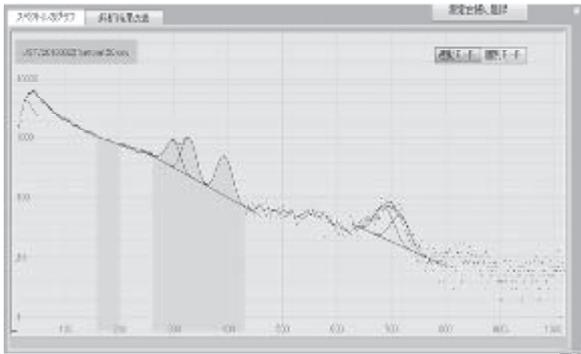


図3 ピーク面積解析 (Code Fukushima)

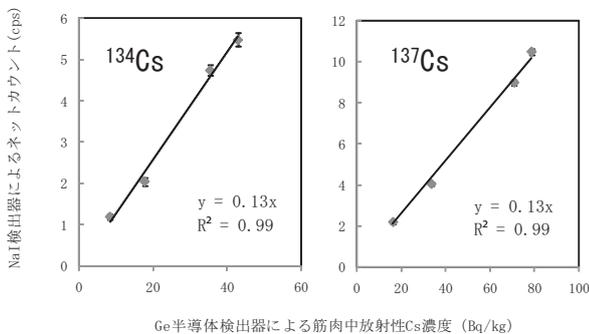


図4 検量線の作成

## (2) 筋肉中放射性セシウム濃度の比較

5 インチ NaI 検出器による放射性 Cs 濃度推定値から汚染があると推定された繁殖和牛 3 頭について、実際に筋肉を Ge 半導体検出器で測定した値を示した (表 3)。

これらの 3 頭の繁殖和牛については、本装置の推定値と実際の筋肉中放射性 Cs 濃度がほぼ一致しており、生体から放射性 Cs 濃度を推定できることを確認した。

表3 筋肉中放射性Cs濃度の推定値と実測値

牛 体 No.	開発装置による推定値			Ge半導体検出器による実測値(筋肉)		
	$^{134}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$	$^{134}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$
1	20.7±2.4	38.7±2.6	59.5±3.5	12.8±3.2	38.6±3.9	51.4±5.0
2	16.0±2.3	34.6±2.6	50.6±3.4	11.8±2.8	30.0±3.1	41.8±4.2
3	6.3±2.0	14.8±2.2	21.1±3.0	8.9±3.0	12.4±3.1	21.3±4.3

数値は平均値±標準誤差。

## 5 開発装置の活用と留意点

今回開発した装置は、総重量が約 1 t 程度であるため、装置の移動には、クレーン付きのトラック及びそのオペレーターが必要である。また、NaI 検出器は、精密機械であるため、雨天時は、屋内での測定が望まれる。

今後の活用については、農家の庭先のみならず、家畜セリ市場や食肉市場での活用を目指していきたいと考えている。家畜セリ市場での活用が実現すれば、成牛セリ市場が再び開催されることとなり、農家に滞留していた牛の解消につながり、福島県の肉用牛経営復興に大きな役割を果たすものと考えている。

## 謝 辞

本試験の現地実証にあたり、貴重な供試牛を提供していただいた肉用牛農家の皆様に感謝申し上げます。

本研究は、独立行政法人科学技術振興機構の助成を受けて行われました。

## 引用文献

- 1) 公益社団法人全国和牛登録協会. 2004. 黒毛和種正常発育曲線.
- 2) 厚生労働省. 2012. 食品中の放射性セシウムスクリーニング法の一部改正について.