

# 和牛繁殖雌牛における筋肉中放射性セシウム濃度の尿からの推定

Estimation of the muscle radiocesium concentrations from urine in Japanese black cows.

福島県農業総合センター畜産研究所 内田守譜 石川雄治 古閑文哉  
 福島大学理工学類 高瀬つぎ子  
 東北大学電子光理学研究センター 大槻 勤<sup>1</sup>

<sup>1</sup>現京都大学原子炉実験所

尿から繁殖雌牛の筋肉中放射性セシウム濃度を推定するため、放射性セシウム(Cs)を含む飼料を継続的に摂取している牛の筋肉と尿中放射性Cs濃度との関係、繁殖雌牛に放射性Csを含む飼料の給与を開始または中断した場合の尿中放射性Cs濃度の推移について調査した。放射性Csを含む飼料を継続的に摂取している牛の尿と筋肉における放射性Cs濃度は、尿の比重で補正することにより、高い正の相関関係が確認された。繁殖雌牛において放射性<sup>137</sup>Csを含む飼料の給与を中断すると、尿中<sup>137</sup>Csは給与中断後9日目までと、給与中断後44日目以降で異なる生物学的半減期で減衰し、尿中<sup>137</sup>Csの推移は2つの指数関数の和で近似することができた。

キーワード：肉用牛、放射性セシウム、尿、筋肉、生物学的半減期

## 1 緒言

牛用飼料に含まれる放射性Csの暫定許容値は平成24年4月以降100Bq/kgだが、平成24年3月まで和牛繁殖雌牛等に給与される飼料は例外的に3,000Bq/kgまで許容されていた。放射性Csを含む飼料を継続的に摂取している肉用牛の筋肉と血液に含まれる放射性Cs濃度は高い正の相関があることが報告されているが<sup>1)4)</sup>、血液中放射性Cs濃度は筋肉の20～30分の1程度と低く<sup>1)4)</sup>、清浄飼料で飼い直しをすると血液中放射性Cs濃度は急激に低下することが確認されている<sup>4)</sup>。さらに食品に含まれる放射性Csの基準値が100Bq/kgに改正されたことから、清浄飼料により飼い直した廃用雌牛の血液中放射性Cs濃度を測定するためには、多量の血液を採取する、あるいは長時間測定する必要がある、今後血液から筋肉中放射性Cs濃度を推定することが困難になることが懸念された。

そこで、本研究では血液よりも放射性Cs濃度が濃い尿から筋肉中放射性Cs濃度を推定するため、尿と筋肉中放射性Cs濃度の相関について検討するとともに、清浄飼料での飼い直し期間の検討材料とするため、放射性Csを含む飼料を給与、または給与中断した場合の尿中放射性Cs濃度の動態についての検討を行った。

## 2 試験方法

### (1) 試験1 筋肉及び尿中放射性Cs濃度の関係調査

#### A 調査期間、調査場所及びサンプル採取方法

平成24年5月23日～9月12日の期間に、警戒区域内で放射性Csに汚染された野草等を自由採食していた和牛雌牛32頭を捕獲し、血液、尿及び筋肉を採取した。

血液は牛をロープで保定後、首の血管から200cc程度採取し、血液の凝固を防ぐためヘパリンが封入された血液バッグに保管し持ち帰った。尿は、牛の陰部の下をマッサージすることにより排尿を促し採取した。筋肉は安楽死後に首を切開し200～300g程度を切り取り採取した。

#### B 調査項目及び分析方法

採取した献体はU8容器に充填し、ゲルマニウム半導体検出器により、筋肉及び尿の場合は1～2時間、血液の場合2～3時間γ線スペクトルを測定した。

また、尿については尿の濃さの影響を補正するため、比重計により尿の比重を測定した。

### (2) 試験2 尿中放射性Cs濃度の動態調査

#### A 試験実施場所及び供試牛の飼養方法

畜産研究所馬和牛舎において、繁殖雌牛8頭を2群に分け、A群は平成23年12月12日まで輸入乾草を給与し、平成23年12月13日から平成24年3月31日まで放射性Csを含む試験飼料(平成23年に所内で収穫された1番草)を現物で1日1頭当たり8kgを給与し、平成24年4月1日から輸入乾草に切り替えた。

B群4頭は平成23年8月12日から放射性Csを含む試験飼料を給与し、平成23年12月13日から輸入乾草の給与に切り替えた(図1)。



図1 試験飼料の給与方法

B サンプルの採取、調査項目及び分析方法

給与飼料を切り替える前日の平成 24 年 12 月 12 日から、供試牛の血液、尿を定期的に採取し、その放射性 Cs 濃度を測定した。サンプルの採取方法及び分析方法は試験 1 と同様におこなった。

また、試験飼料とした牧草について、ロールを切り開き細断する際に、9 箇所から採取・混合したものを細かく切り刻み U8 容器に充填し、その他のサンプルと同様にゲルマニウム半導体検出器により放射性 Cs 濃度を測定した。

なお、試験期間が数ヶ月にわたることから、半減期の影響を除外するため、半減期の長い <sup>137</sup>Cs のみで各サンプルの放射性 Cs 濃度を評価した。

3 試験結果および考察

(1) 試験 1 筋肉及び尿中放射性 Cs 濃度の関係調査

筋肉中放射性 Cs 濃度は血液の 28.3 倍 (表 1) で、我々が過去に他地域で調査した 27.5 倍<sup>4)</sup>と同様であったことから、汚染濃度の大小にかかわらず、筋肉と血液に含まれる放射性 Cs の濃度の比は変わらないことが示唆された。

また、筋肉と尿に含まれる放射性 Cs 濃度を比較すると、筋肉は尿の 6.3 倍と血液と比較し、より筋肉に近い濃度であったが (表 1)、ばらつきが大きく、尿の比重も検体毎に大きく異なっていた (表 2)。このことから、尿中の水分量の影響を大きく受けていることが考えられたため、尿中放射性 Cs 濃度を尿比重が 1.020 となるように補正し、筋肉中放射性 Cs 濃度と比較すると有意な線形相関が確認できた ( $R=0.96, p<0.01$ ) (表 2、図 1)。これは、血液と筋肉に含まれる放射性 Cs 濃度の相関 ( $R=0.94, p<0.01$ ) と同等であり、比重により補正した尿中放射性 Cs 濃度は、放射性 Cs を含む飼料を継続的に摂取している牛の筋肉中放射性 Cs 濃度を推定する上で有効であると考えられた。

表 1 血液、尿、筋肉の放射性セシウム濃度

	n	平均値	標準偏差	最大値	最小値
血液(Bq/kg)	32	362	391	1,203	12
尿(Bq/kg)	25	3,349	4,197	13,424	12
筋肉(Bq/kg)	32	8,845	8,835	30,108	447
筋肉/血液の比		28.3	9.0	55.9	16.2
筋肉/尿の比		6.3	8.8	38.8	1.2
尿/血液の比		9.1	6.3	24.6	1.0

※各サンプルの比の平均値は個別のサンプルの比を集計し計算した値を記載。

表 2 尿の比重で補正した尿中放射性Cs濃度 (n=23)

	平均値	標準偏差	最大値	最小値
尿の比重	1.020	0.011	1.037	1.002
尿(比重補正)(Bq/kg)	2,596	2,971	9,589	115
筋肉/尿(比重補正)の比	3.2	0.8	4.9	1.7
尿(比重補正)/血液の比	9.1	3.3	18.9	5.0

※各サンプルの比の平均値は個別のサンプルの比を集計し計算した値を記載。  
※尿(比重補正)は尿中放射性Cs濃度を尿の比重が1.020となるよう補正したものの。

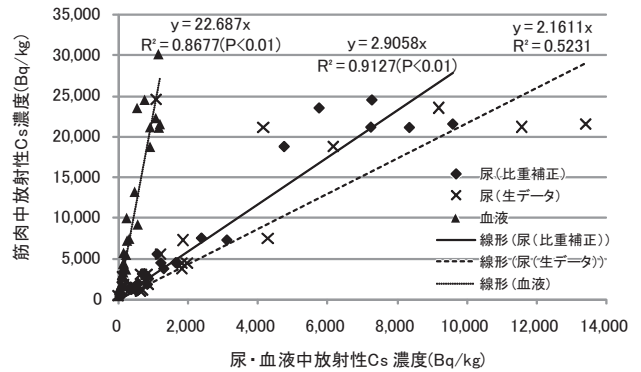


図 2 尿、血液及び筋肉中放射性Cs濃度の関係

(2) 試験 2 尿中放射性 Cs 濃度の動態調査

A 放射性 Cs を含む飼料の給与開始後の尿中放射性 Cs の動態

A 群の牛の尿中 <sup>137</sup>Cs は、試験飼料の給与を開始後急激に上昇し、個体差はあるものの 9 日目の測定で最初のピークとなった。その後は飼料中 <sup>137</sup>Cs の濃度の変化を反映し尿中 <sup>137</sup>Cs が推移した (図 3)。このことから、尿中 <sup>137</sup>Cs は 10 日程度でほぼ平衡状態に達することが示唆された。

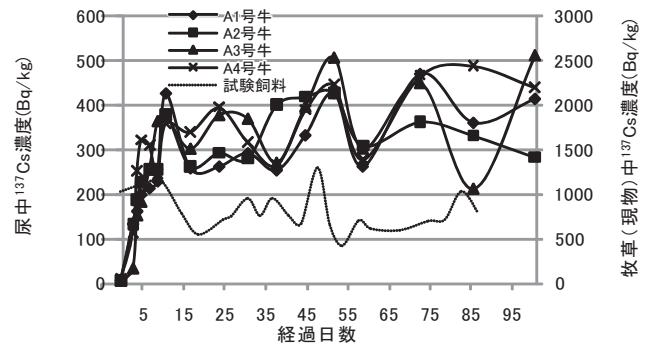


図 3 放射性Csを含む飼料を給与開始後の尿及び試験飼料(現物)の中の<sup>137</sup>Csの推移

B 放射性 Cs を含む飼料の給与中断後の尿中放射性 Cs の動態

(A) 体内汚染度を調査する検体としての血液と尿の比較

B 群で清浄飼料に切り替えた後の牛の血液及び尿中 <sup>137</sup>Cs の減少速度は、はじめの数日間で大きく、徐々に緩やかになっていった。血液中 <sup>137</sup>Cs は清浄飼料に切り替え後 44 日目に 4 頭中 3 頭で検出限界値を下回ったが (検出限界は 2.5Bq/kg 程度)、尿中 <sup>137</sup>Cs は血液より初期の値が高いため長期間検出され、128 日目で初めて B1 号牛が N.D. となった (図 4)。このことから、調査対象牛が放射性 Cs を含む飼料

を摂取した経歴があるかを調査する検体として、血液より尿の方が適していると考えられた。

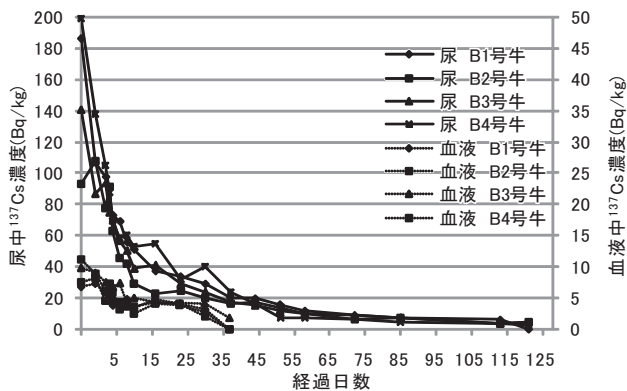


図4 放射性Csを含む飼料を給与と中断後の尿及び血液中<sup>137</sup>Csの推移

### (B) 尿中放射性Csの減衰について

B群の牛の尿中<sup>137</sup>Csの推移を、開始時の濃度を1として数値化し縦軸を対数のグラフで表すと、0～9日目までの期間と44日目以降の期間で異なる傾きが認められた(図5)。B群の牛の各々の尿中<sup>137</sup>Csの推移から、上記の2期間の生物学的半減期を求めると、0～9日目までの期間で平均7.1日、44日目から128日目までの期間では平均で37.4日だった(表3)。

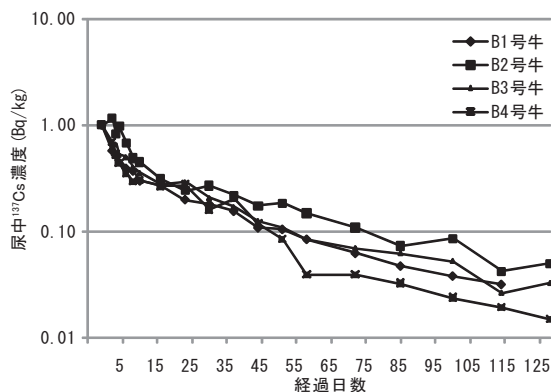


図5 B群の尿中<sup>137</sup>Csの推移(開始時の濃度を1として数値化し、縦軸を対数表示)

表3 尿中<sup>137</sup>Cs濃度の推移から計算した期間別の生物学的半減期(単位:日)

調査牛	生物学的半減期(日)	
	0～9日目までの期間	44～128日目までの期間
B1号牛	6.9	36.5
B2号牛	7.8	40.8
B3号牛	7.8	40.8
B4号牛	6.0	31.5
平均	7.1	37.4
標準偏差	0.87	4.41

チェルノブイリ事故後、牛に関する放射性Csの生物学的半減期の正確なデータは無いが、東京電力福島第一原子力発電所の事故後に伊藤らが行った試験では尿中放射性Cs濃度の生物学的半減期を15日と報告<sup>2)</sup>しており、本研究の0～9日目までの期間はより生物学的半減期が短く、44日目

から128日目までの期間ではより長い結果だった。これは、第一に今回0～9日目までの期間に詳細にデータを収集したことにより短期間の生物学的半減期を計算できたことが理由の一つと考えられる。また、伊藤の試験では、放射性Csを含む飼料の給与期間は4週間であるが、本研究では約4ヶ月間給与している。高瀬の報告では、筋肉がその他の臓器よりも非常に緩やかに放射性Csを排出するモデルが示唆されている<sup>3)</sup>が、本研究では放射性Csを含む飼料の給与期間が長いことにより、体内で筋肉中へ放射性Csが蓄積された割合が大きく、このため44日目以降の期間の生物学的半減期が長い結果になっている可能性が考えられる。

0～9日目までの期間と44～128日目までの期間で異なる生物学的半減期が確認されたことから、尿中<sup>137</sup>Csの減衰を2つの指数関数の和で近似することを試みた。各観測時点の4頭の尿中<sup>137</sup>Csの平均値(清浄飼料開始時を1とした相対値)を使用し、後半の減衰速度が遅い時期における尿中<sup>137</sup>Csの推移の近似式(指数関数A:  $y=0.27995e^{-0.01875x}$ )を求め、前半の各観測時点のデータから指数関数Aの値を差し引き、差し引いた値から近似式(指数関数B:  $y=0.5168e^{-0.2445x}$ )を求めた。これら2つの指数関数の和( $y=0.27995e^{-0.01875x}+0.5168e^{-0.2445x}$ )の推移と実際の尿中<sup>137</sup>Csの推移を比較したところ、実際の尿中<sup>137</sup>Csの減衰パターンと符合した(図6)。

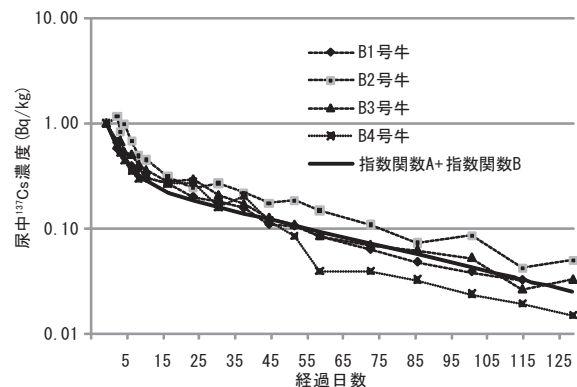


図6 B区の尿中<sup>137</sup>Csの推移と二つの指数関数の和の比較(開始時の濃度を1として数値化し、縦軸を対数表示)

### (3) 今後の課題

今回、放射性Csを含む飼料を継続的に摂取している牛の筋肉と尿中放射性Cs濃度の関係、さらに放射性Csを含む飼料の給与を中断後の尿中放射性Csの減衰について明らかにした。しかし、尿から筋肉中放射性Cs濃度を推定し、適切な飼い直し期間を設定するためには、放射性Csを含む飼料の給与を中断し一定期間が経過した牛の筋肉と尿中放射性Cs濃度の関係が中断前と大きく異なっていないか確認する必要がある。

また、尿は血液と比較し、放射性Cs濃度が高く、獣医師でなくとも採取でき、多量に採取しても牛への負担が少ないという利点があるが、採取に時間がかかる場合があり、容易に短時間で採取できる方法の検討が必要である。

## 謝 辞

本研究のとりまとめにあたり、貴重な検体を提供いただいた畜産農家の皆様、検体の採取に協力いただいた相双家畜保健衛生所に深く感謝の意を表します。

## 引用文献

- 1) Fukuda, T., Kino, Y., Abe, Y., Yamashiro, H., Kuwahara, Y., Nihei, H., Sano, Y., Irisawa, A. Shimura, T., Fukumoto, M., Shinoda, H., Obata, Y., Saigusa, S., Sekine, T., Isogai, E. and Fukumoto, M. 2013. Distribution of Artificial Radionuclides in Abandoned Cattle in the Evacuation Zone of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. PLOS ONE, 8 (1), e54312.
- 2) 伊藤信彦. 2012. 福島第一原発事故による畜産物への影響とその克服— 20km 圏内の汚染家畜を活用した研究—. 日獣会誌 65 : 645-652.
- 3) 高瀬つぎ子. 2013. ウシの体内での放射性セシウムの分布 - コンパートメントモデルによる解析 -. RADIOISOTOPES 62 : 281-290.
- 4) Uchida, M., Ishikawa, Y., Ohtsuki, T., Kikunaga, H., Takase T. and Sugano, M. 2012. International science symposium on combating radionuclide contamination in agro-soil environment.