

## 飼料から牛肉への放射性セシウムの移行に関する推計方法

### 1, はじめに

- ・平成 23 年 12 月、厚生労働省は食品中の放射性セシウム（以下、単に「セシウム」といいます。）に関する基準値案（以下、単に「基準値」といいます。なお、牛肉は 500 Bq/kg から 100 Bq/kg に変更。）を公表しましたが、24 年 4 月 1 日には施行される予定です。さらに、この基準値を超えない牛肉や牛乳を生産するため、農林水産省は牛用飼料の暫定許容値を 300 Bq/kg から 100 Bq/kg に変更しました。
- ・畜産物の安全を確保するため、この基準値の施行に先立って、暫定許容値( 100 Bq/kg )以下の牧草への切替えを進めるとともに、これまでの飼養管理の状況から基準値を超える牛肉が生産されるおそれがあるときは、牛肉中のセシウムの濃度を推定し、新許容値を大きく下回る飼料を給与する必要があります。
- ・これまでもセシウムを含む粗飼料（イタリアン牧草、稲わら、デントコーン・スーダンサイレージ等）の給与が原因となって、牛肉中から食品衛生法の暫定規制値（500 Bq/kg）を超えるセシウムが検出された事例が起きています。このことを踏まえ、畜産農家等が飼料から牛肉へのセシウムの移行の程度を把握するため、農林水産省消費・安全局畜産安全管理課から関係県に対して、平成 24 年 2 月 3 日に事務連絡「飼料から牛肉への放射性物質の移行の考え方」が示されていますが、関係者のみなさまにこの事務連絡をより深く理解していただくため、  
**飼料中のセシウム濃度から牛肉中の濃度の推計**  
**牛肉中のセシウム濃度が食品の基準値を下回るまでの期間の推計**  
について、実例を示しながら解説します。
- ・なお、飼料の暫定許容値は、**生牧草（含水率 80%換算）**ベースで定めていますので、本稿では特に明記しない限り、飼料は「生牧草」ベースとし、乾草などのセシウム濃度を生牧草へ換算する場合は、7 ページの「（参考）収穫した牧草中の放射性物質の濃度及び生牧草への換算」を参考にしてください。

#### 飼料以外の要因

- ・食品の暫定規制値（500 Bq/kg）を超えるセシウムが牛肉から検出された事例では、高濃度のセシウムを含む粗飼料の給与が主な原因と推察されますが、粗飼料以外の要因（水、土壌等）からセシウムを取り込む可能性もあります。
- ・このため、県などが生産者へ指導する際には、粗飼料以外の要因が影響を及ぼす可能性がないかについても注意しながら飼い直しに必要な期間を推計し、適切な飼養管理が行われるように指導してください。

## 2 , 牛肉中のセシウム濃度の推計

### ( 1 ) 基本的な考え方

- ・牛がセシウムを含む飼料を摂食し続けると、その一部が体内（筋肉中など）に蓄積されるため筋肉中の濃度が上昇していきますが、その上昇は次第に緩やかになっていきます。
- ・ある程度の期間（60日程度）が経過すると、体内の濃度がそれ以上は上がらなくなる「**平衡状態**」に達します。
- ・この平衡状態において、給与された飼料中の放射性物質濃度と生産される畜産物中の放射性物質濃度の比を「**移行係数**」と言います。

飼料の暫定許容値の計算に際しては、移行係数を **0.038 (日/kg)** としております。この移行係数は、食品の安全確保の観点から我が国の飼養管理方法を考慮して行った移行試験の結果に基づいて設定しております。

- ・一定濃度のセシウムを含む飼料を摂取し、平衡状態に達した牛肉中の濃度は、飼料中のセシウム濃度と飼料の摂取量を乗じて得る飼料中のセシウム量にこの移行係数を乗じることによって推計できます。

**牛肉中のセシウム濃度 (Bq/kg) =**

$$\text{飼料中の濃度 (Bq/kg)} \times \text{飼料の摂取量 (kg/日)} \times \text{移行係数 (日/kg)}$$

### ( 2 ) 具体的な試算例

以下に留意しながら、試算してみましょう。

#### 留意事項

1. 飼料摂取量が正確にわからない場合は、想定される最大量を当てはめて試算します。
2. 発育ステージによって飼料の摂取量は異なります。セシウムを含む飼料を給与していた期間中の飼料の摂取量が発育ステージによって異なる場合は、分けて算定する必要があります。（具体的には、試算例2を参照）
3. 飼料の摂取量は、生草ベース（含水率80%換算）、現物ベース（乾草であれば、含水率15%前後）のいずれでも構いませんが、計算する際には飼料中のセシウム濃度も同じベースにします。

次に、これらの計算方法をよく理解するため、具体的な試算例を示します。

試算例1：100 Bq/kg の飼料を 20 kg/日食べ続けた場合の牛肉の濃度

$$100 \times 20 \times 0.038 = \underline{76} \text{ (Bq/kg)}$$

試算例2：搾乳時に 100 Bq/kg の飼料を 20 kg/日食べ続けたが、肉用に出荷とするため2か月（60日）前から 20 Bq/kg の飼料を 8 (kg/日) に切り替えた場合の牛肉の濃度

- ・まず、搾乳終了時の牛肉の濃度を推計します。

$$100 \times 20 \times 0.038 = 76 \text{ (Bq/kg)} \quad \dots \quad (1)$$

- ・(1)の60日後の濃度を推計します。(詳細は3を参照してください。)

$$76 \times (1/2)^{(60/60)} = 76 \times (1/2)^1 = 38 \text{ (Bq/kg)} \quad \dots \quad (2)$$

- ・次に、切替え後の飼料により上昇する濃度を推計します。

$$20 \times 8 \times 0.038 = 6 \text{ (Bq/kg)} \quad \dots \quad (3)$$

- ・よって、切替え2か月後の牛肉の濃度は、(2)と(3)の合計になります。

$$38 + 6 = 44 \text{ (Bq/kg)}$$

最後に、飼料中のセシウム濃度と摂取量から推計される牛肉中のセシウム濃度の試算表を示しますので、推計する際の参考にしてください。

表1 飼料中のセシウム濃度及び摂取量から推計される牛肉中のセシウム濃度 (Bq/kg)

飼料中の濃度 (Bq/kg)	飼料摂取量 (kg / 日、生牧草ベース)										
	1	3	5	10	15	20	25	30	40	50	60
10	1	2	2	4	6	8	10	12	16	19	23
20	1	3	4	8	12	16	19	23	31	38	46
30	2	4	6	12	18	23	29	35	46	57	69
40	2	5	8	16	23	31	38	46	61	76	92
50	2	6	10	19	29	38	48	57	76	95	114
60	3	7	12	23	35	46	57	69	92	114	137
70	3	8	14	27	40	54	67	80	107	133	160
80	4	10	16	31	46	61	76	92	122	152	183
90	4	11	18	35	52	69	86	103	137	171	206
100	4	12	19	38	57	76	95	114	152	190	228
200	8	23	38	76	114	152	190	228	304	380	456
300	12	35	57	114	171	228	285	342	456	570	684
500	19	57	95	190	285	380	475	570	760	950	1,140
1,000	38	114	190	380	570	760	950	1,140	1,520	1,900	2,280

注：

- ・水色のセルは、牛肉の基準値 (100 Bq/kg) 以内と推計される場合
- ・赤色のセルは、牛肉の基準値を超過すると推計される場合
- ・黄色のセルは、牛肉中のセシウム濃度は基準値を下回ると推計されますが、飼料中のセシウム濃度が暫定許容値 (100 Bq/kg) を上回るため、実際には給与できない場合

### 3, 食品の基準値を下回るまでに要する期間の推計

#### (1) 基本的な考え方

- ・牛の体内に取り込まれたセシウムは、大部分はふん尿として体外へ排せつされる

ため、セシウムの摂取量が減少すると牛の体内のセシウム濃度は徐々に低下していきます。

- ・このようにして体内に取り込まれたセシウムの濃度が元の半分になるまで要する時間を「**生物学的半減期**」と言います。牛肉のセシウムに関する生物学的半減期には、これまでの報告ではかなり幅（0.6～60日）がありますが、食品の安全を確保する観点から、試算する際には**最大値の60日**を用います。

放射性物質が放射線を出しながら崩壊して半分になるまでに要する時間を「（物理的）**半減期**」と言い、セシウム 134 では約2年、セシウム 137 では約30年です。この物理的半減期は、生物学的半減期と比較するとかなり長いため、牛肉中のセシウム濃度を推計する際に考慮する必要はありません。

- ・セシウム濃度 X (Bq/kg) の牛肉について、Y 日後のセシウム濃度 Z (Bq/kg) は、以下の式で求めることができます。

$$Z = X \times (1 / 2)^{(Y / 60)}$$

（生物学的半減期を60日とした場合）

- ・また、上記の式を組み替えると、以下のように Y (日) を求める式が得られます。

$$Y = \text{Log}(Z / ((1 / 2) \times X)) \times 60$$

## （2）具体的な試算方法

以下に具体的な試算例を示します。

試算例3：牛肉中のセシウム濃度が500 Bq/kgの牛に、セシウムを含まない飼料を240日間給与した場合の牛肉中のセシウム濃度

$$500 \times (1 / 2)^{(240/60)} = 500 \times (1 / 2)^4 = \underline{31} \text{ (Bq/kg)}$$

試算例4：セシウム濃度が100 Bq/kgの飼料を25 kg/日摂取し続けた牛が、セシウムを含まない飼料へ切り替えた場合の牛肉中のセシウム濃度

- ・100 Bq/kgの飼料を25 kg/日摂取し続けた牛の牛肉中の濃度は、表1より 95 Bq/kg と推計されます。
- ・その後、セシウムを含まない飼料を給与した場合、牛肉中のセシウム濃度は、60日後に半分の 48 [ = 95 × (1 / 2)<sup>(60 / 60)</sup> ] Bq/kg、120日後にさらに半分の 24 [ = 95 × (1 / 2)<sup>(120 / 60)</sup> ] Bq/kg) へ減少します。

試算例 5 : セシウム濃度が X ( Bq/kg ) の牛肉を Z ( Bq/kg ) まで減少させるのに必要な日数 Y ( 日 )

・  $Y = \text{Log}( Z / ((1 / 2) \times X) ) \times 60$  によって求められます。

- ・ 計算結果の例として、表 2 a ( 100 Bq/kg 以下にするために必要な日数 )、表 2 b ( 75 Bq/kg 以下にするために必要な日数 ) 及び表 2 c ( 50 Bq/kg 以下にするまでに必要な日数 ) に示します。
- ・ なお、飼い直しに要する期間を試算する際には、飼い直しによって牛肉中のセシウム濃度が 100 Bq/kg を確実に下回るようにします。また、基準値を超える牛肉が流通することを未然に防ぐため、と畜時には牛肉中のセシウム濃度を可能な限り検査しましょう。

表 2 a . 牛肉中のセシウム濃度を 100 Bq/kg 以下にするために必要な日数 ( 推計 )

牛肉の推定 セシウム濃度 (Bq/kg) 下段は日摂取量	飼料のセシウム濃度 (Bq/kg) 及び摂取量								
	0 (Bq/kg)	50 (Bq/kg)				100 (Bq/kg)			
		1kg/日	5kg/日	10kg/日	20kg/日	1kg/日	5kg/日	10kg/日	20kg/日
125	20	21	28	38	61	23	38	61	143
150	36	37	44	54	77	39	54	77	159
175	49	51	58	67	90	52	67	90	172
200	60	62	69	79	102	64	79	102	184
250	80	81	88	98	121	83	98	121	203
300	96	97	104	114	137	99	114	137	219
350	109	111	118	127	150	112	127	150	232
400	120	122	129	139	162	124	139	162	244
450	131	132	139	149	172	134	149	172	254
500	140	141	148	158	181	143	158	181	263
750	175	177	184	193	216	178	193	216	298
1,000	200	201	208	218	241	203	218	241	323
1,500	235	237	244	253	276	238	253	276	358
2,000	260	261	268	278	301	263	278	301	383

注 :

- ・ 水色のセルは、2 か月 ( 60 日 ) 以内と推計される場合
- ・ 黄色のセルは、4 か月 ( 120 日 ) 以内と推計される場合
- ・ 赤色のセルは、それ以上と推計される場合

表 2 b . 牛肉中のセシウム濃度を 75 Bq/kg 以下にするために必要な日数 (推計)

牛肉の推定 セシウム濃度 (Bq/kg) 下段は日摂取量	飼料のセシウム濃度 (Bq/kg) 及び摂取量								
	0 (Bq/kg)	50 (Bq/kg)				100 (Bq/kg)			
		1kg/日	5kg/日	10kg/日	15kg/日	1kg/日	5kg/日	10kg/日	15kg/日
125	45	47	56	70	86	49	70	106	168
150	60	63	72	86	102	65	86	122	184
175	74	76	86	99	115	78	99	135	197
200	85	88	97	111	127	90	111	147	209
250	105	107	116	130	146	109	130	166	228
300	120	123	132	146	162	125	146	182	244
350	134	136	146	159	175	138	159	195	257
400	145	148	157	171	187	150	171	207	269
450	156	158	167	181	197	160	181	217	279
500	165	167	176	190	206	169	190	226	288
750	200	202	212	225	241	204	225	261	323
1,000	225	227	236	250	266	229	250	286	348
1,500	260	262	272	285	301	264	285	321	383
2,000	285	287	296	310	326	289	310	346	408

表 2 c . 牛肉中のセシウム濃度を 50 Bq/kg 以下にするために必要な日数 (推計)

牛肉の推定 セシウム濃度 (Bq/kg) 下段は日摂取量	飼料のセシウム濃度 (Bq/kg) 及び摂取量							
	0 (Bq/kg)	50 (Bq/kg)				100 (Bq/kg)		
		1kg/日	5kg/日	10kg/日	15kg/日	1kg/日	5kg/日	10kg/日
125	80	83	98	121	153	87	121	203
150	96	99	114	137	169	102	137	219
175	109	112	127	150	182	116	150	232
200	120	124	139	162	194	127	162	244
250	140	143	158	181	213	147	181	263
300	156	159	174	197	229	162	197	279
350	169	172	187	210	242	176	210	292
400	180	184	199	222	254	187	222	304
450	191	194	209	232	264	198	232	314
500	200	203	218	241	273	207	241	323
750	235	238	253	276	308	242	276	358
1,000	260	263	278	301	333	267	301	383
1,500	295	298	313	336	368	302	336	418
2,000	320	323	338	361	393	327	361	443

### (参考) 収穫した牧草中の放射性物質の濃度及び生牧草への換算

- ・ 牧草中のセシウム濃度は、牧草の定点調査結果における（収穫した）地域の収穫時点の最大値を用いてください。牧草の定点調査結果については、県庁の畜産関係課へお問い合わせになるか、各県又は[農林水産省のホームページ](#)をご覧ください。
- ・ なお、定点調査における放射性物質の濃度は、すべて含水率 80%の生牧草ベースに換算された値で示されていますが、実際に牛へ給与する前に、乾草やサイレージに調製することが多いかと思えます。
- ・ 生牧草を乾草やサイレージに調製すると水分が減少して重量が減り（濃度が上昇）します。したがって、乾草やサイレージに調製して給与した場合は、飼料の給与量を生牧草ベースの重量に換算する必要があります。実際に給与した牧草の含水率がわかっている場合は、含水率 80%の生牧草の重量に給与量を換算してください。
- ・ 含水率が X (%) の粗飼料 Y (kg) を生牧草（含水率 80%）に換算した場合の重量 Z (kg) は、 $Z = Y \times ( (100 - X) / 20 )$  で求めることができます。

**試算例 6**：セシウム濃度が 100 Bq/kg（生牧草換算）で含水率 65%のサイレージを 10 kg/日摂取した牛の牛肉中のセシウム濃度を推計する場合

- ・ サイレージの摂取量を生牧草の量に換算すると、  
 $10 \times ( (100 - 65) / 20 ) = 18$  (kg)
  - ・ よって、牛肉中のセシウム濃度は、  
 $100 \times 18 \times 0.038 = 69$  (Bq/kg)
- ・ なお、実際に給与した牧草の含水率がわからない場合は、以下の表 3 を用いることもできますが、含水率が大きく異なる場合がありますので、できるだけ実際の含水率を調べて計算に用いてください。

表 3. 生牧草（含水率 80%）への換算率

	水分量 (%)	換算率
生牧草	80.0	1.0
高水分サイレージ	70.0	1.5
低水分サイレージ	40.0	3.0
乾草	14.5	4.3

**試算例 7**：生牧草に換算すると 100 Bq/kg のイタリアンライグラスの低水分サイレージを 15 kg/日摂取した搾乳牛を廃用に出荷する場合

- ・ 搾乳終了時の牛肉中のセシウム濃度は、以下のように推計されます。  
牛肉中のセシウム濃度 =  $100 \times (15 \times 3.0) \times 0.038 = 171$  (Bq/kg)

- ・新たな暫定許容値以内（100 Bq/kg）の粗飼料を給与していても、搾乳牛は、肥育牛より粗飼料の摂取量が多いため、乳用廃用牛の牛肉は、基準値（100 Bq/kg）を超える可能性があることに注意してください。
- ・この乳用廃用牛に輸入乾草等のセシウムを含まない粗飼料を給与し、牛肉中のセシウム濃度を 75 Bq/kg以下にするために必要な期間は、表 2 bより牛肉の濃度 200 Bq/kgの欄と、飼料 0 Bq/kgの欄から85日必要と推定されます。

## <参考文献>

### （参考書・報告書）

- ・ 土壌から農作物への放射性物質の移行係数（（財）原子力環境整備センター、1988）
- ・ 環境放射能—挙動・生物濃縮・人体被曝線量評価—（佐伯誠道 編、1984）
- ・ 生物圏評価のための土壌から農作物への移行係数に関するデータベース（日本原子力研究開発機構、2009）
- ・ Quantification of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments (IAEA - TECDOC - 1616)(IAEA, 2009)
- ・ Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and fresh water environments (Technical reports series No. 472 ) (IAEA, 2010)
- ・ Present and future environmental impact of the Chernobyl accident (IAEA, 2001)

### （関連論文）

- ・ 国産牛乳におけるセシウム-137 の移行係数に関する研究（三橋俊彦、1996）
- ・ 土壌及び土壌—植物系における放射性ストロンチウムとセシウムの挙動に関する研究（津村昭人ら、1984）
- ・ Experimental determination of transfer coefficients of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{131}\text{I}$  from fodder into milk of cows and sheep after the chernobyl accident (G. Voigt et al. 1989)

## <関連リンク集>

### （原発関係）

- ・ [農林水産省（牧草中の放射性物質の調査結果について）](#)
- ・ [農林水産省（夏作飼料作物中の放射性物質の調査結果について）](#)
- ・ [農林水産省（農林漁業者の方々へ...通知やQ & Aなど）](#)
- ・ [農林水産省（農畜産物の出荷制限・解除について）](#)
- ・ [農林水産省（食品中の放射性物質の調査結果）](#)
- ・ [農林水産省（食品の放射性物質にかかる暫定規制値等）](#)
- ・ [文部科学省（環境モニタリングの調査結果）](#)
- ・ [文部科学省（航空機モニタリング結果）](#)
- ・ [環境省（環境放射線等モニタリングデータ公開システム）](#)
- ・ [（社）日本土壌肥料学会（原発事故関連情報）](#)
- ・ [（社）日本アイソトープ協会（検査機器関連情報）](#)
- ・ [IAEA（国際原子力機関、英文）](#)
- ・ [ICRP（国際放射線防護委員会、英文）](#)
- ・ [東京電力（原発の状況・損害賠償請求）](#)



(研究等関係機関)

- [全国飼料増産協議会（飼料増産に関連した事業など）](#)
- [専門家が答える暮らしの放射線Q&A（日本保険物理学会）](#)
- [（独）畜産草地研究所（畜産関係の研究機関）](#)
- [（独）農林水産消費安全技術センター（飼料の検査など）](#)
- [（独）放射線医学総合研究所（原発事故関連情報）](#)
- [（独）日本原子力研究開発機構](#)