

放射性元素の分布を臓器別に示した詳細データであり、今回の研究では、この詳細データに基づいて、代謝モデルの解析を行った。

2. 調査方法

2・1 採取場所・採取時期

今回、放射性セシウムによる環境汚染の状況が大きく異なる2つのサイトをA-サイトおよびB-サイトで、検体を採取した(Fig.1)。A-サイトは、FDNPPから南西方向20kmに位置し、放射性セシウムによる環境汚染の状況は、空間放射線量率0.5~1.0 $\mu\text{Sv/h}$ 、土壌中の ^{137}Cs 濃度100~300kBq/ m^2 程度(文部科学省による土壌調査結果(2011年6月)¹⁾であり、低濃度汚染地域とみなしモデリングした。また、B-サイトは、FDNPPから西方向5kmに位置し、放射性セシウムによる環境汚染の状況は、空間放射線量率10~20 $\mu\text{Sv/h}$ 、土壌中の ^{137}Cs 濃度1,000~3,000kBq/ m^2 程度¹⁾であり、放射性セシウムによる高濃度汚染地域とみなしモデリングした。検体の採取は、A-サイトでは、2011年9~10月、B-サイトでは、2012年7~8月に行った。

今回、検体を採取したウシは、放射性セシウムに汚染された餌を恒常的に6か月以上摂取しており、近似的に定常状態に達していると仮定して、測定データの解析を行った。

2・2 採取検体

今回の調査研究における検体の採取は、牛の所有者の承諾を得たうえで行われた。A-サイトでは、成牛22頭、仔牛7頭、胎児1頭から検体(血液、筋肉

(頸部、大腿部)および内臓組織(肝臓、腎臓、心臓、脾臓)を採取した。B-サイトでは、成牛24頭の血液および筋肉(頸部)から検体を採取した。その他の部位に関しては、警戒区域のため許容される滞在時間に制限があり、採取していない。なお、今回、検体を採取したウシは、すべて黒毛和種であった。

2・3 測定方法

採取した検体は4℃で冷蔵保管した。 γ 線スペクトルの測定および放射性核種の定性・定量には、同軸型のゲルマニウム検出器(キャンベラ製;相対効率率40%, Model2040)を使用した。検体は、U8容器(新鮮重量:90g程度)に詰めて測定した。

γ 線スペクトルの積算時間は、筋肉および内臓組織の場合が1~2時間、血液(全血)の場合が2~3時間であり、 ^{137}Cs の検出限界は、いずれも2.5Bq/kg程度であった。

今回、血液および内臓組織の放射性セシウム濃度の評価には ^{137}Cs を用いた。 ^{137}Cs の半減期(30.17年)は、調査研究期間(約1年間)と比較して十分長いため、すべての測定データ(^{137}Cs 濃度)は、検体採取時の値とし、半減期補正は行わなかった。

3. 結果と考察

3・1 ウシ体内で検出された放射性元素

今回、A-サイトおよびB-サイトで採取した検体から検出された放射性元素の臓器別分布をFig.2およびAppendix 1, 2に示す。放射性セシウム(^{134}Cs , ^{137}Cs)が胎児を含むすべての内臓組織から検出された。内臓組織別に放射性セシウム濃度を比

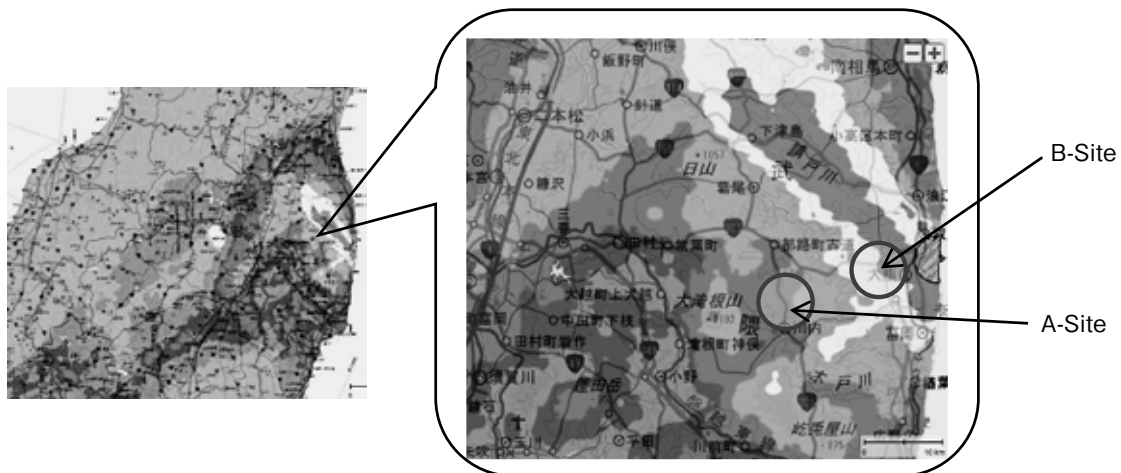


Fig. 1 Sampling locations and radiocesium contamination in Fukushima

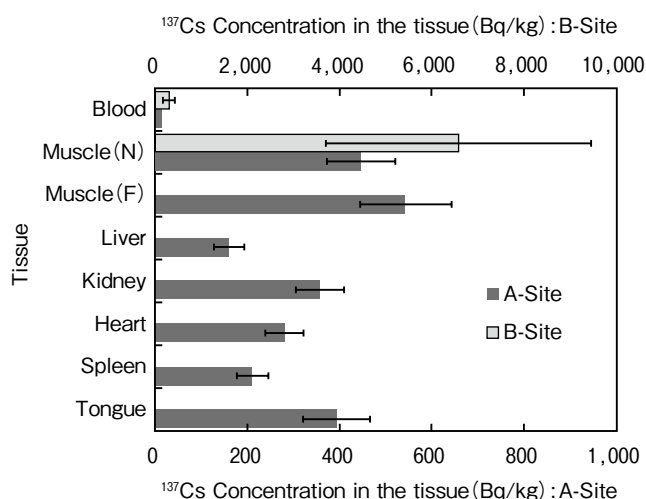


Fig. 2 Distribution of ^{137}Cs concentration in organ tissues

較すると、個体ごとのばらつきはみられるものの、筋肉>腎臓>肝臓>血液という結果であった。また、他の放射性物質に関しては、胎児を除くすべての検体の肝臓から放射性銀 ($^{110\text{m}}\text{Ag}$) が検出され、一部の検体の腎臓からは放射性テルル ($^{129\text{m}}\text{Te}$) が検出された。本研究の測定結果からは、同一地域に生息するウシから検出される放射性物質の種類に大きな差異は見られなかった。

これらの測定結果は、本研究と同一地域で行われた福本らによる調査研究の結果³⁾と定性的には一致した。なお、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ の体内分布に関しては、チェルノブイリ事故の際にも、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ は、肝臓に特異的に蓄積されるという報告がある¹¹⁾。

3・2 ウシの体内での放射性セシウムの分布

Fig. 2 から明らかなように、同じ地域に生息するウシであっても、血液中や内臓組織中に含まれる放射性セシウム濃度には大きな個体差がある。このような個体差が発生する要因として、餌の摂取量の違いが考えられる。すなわち、今回の研究で用いた『のら牛』は、FDNPPの爆発事故から検体を採取するまでの期間、牧場（2011年3月まで飼育されていた牧場）の周辺を自由に移動し、餌を摂取していたと推定される。餌を自由に摂取できる環境におかれた場合、個体によって餌の摂取量が異なり、結果的に、ウシが摂取する放射性セシウムの量に大きなばらつきが生じた可能性がある。

一方、消化管を介して体内に取り込まれた放射性セシウムの臓器別の分布に注目すると、血液中の放射性セシウム濃度と内臓組織中の放射性セシウム濃

度との間に、広い濃度範囲にわたって明らかな線形相関がみられた (Fig. 3 および Fig. 4 参照)⁵⁾。定常状態におけるコンパートメントモデルが成立する系では、血液（細胞外液）中の放射性セシウム濃度と内臓組織中の放射性セシウム濃度との間に線形相関が成り立つこと^{5) 8) 9)}が知られており、今回の測定結果は、『ウシの体内での放射性セシウムの代謝には、体内での放射性セシウム濃度の濃淡に関わらず、同一のモデルが適用できる』ことを示唆している⁵⁾。

また、定常状態のコンパートメントモデルに従って、内臓組織別の放射性セシウムの蓄積性（【移行係数（血液→内臓組織）】と【移行係数（内臓組織→血液）】との比）を推計したところ、Table-1に

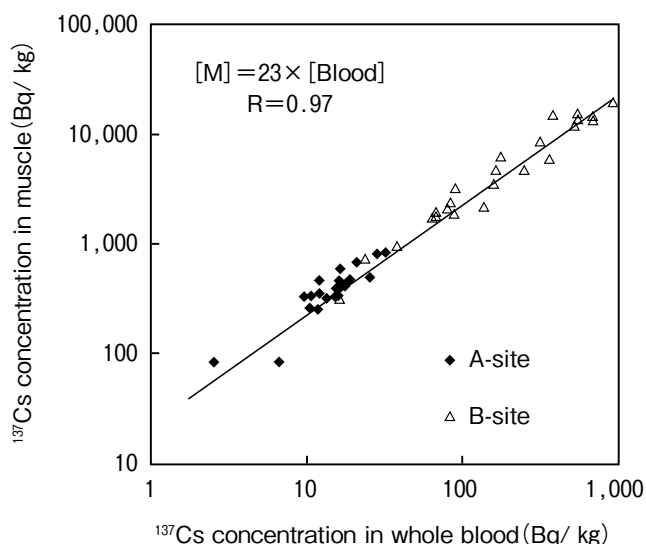


Fig. 3 Correlation of ^{137}Cs concentration between blood and muscle (neck)

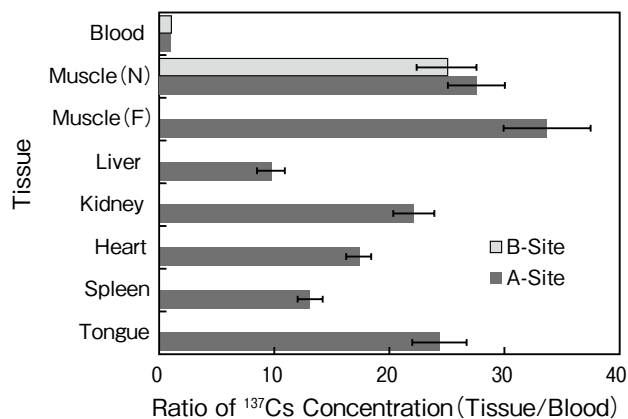


Fig. 4 Ratio of ^{137}Cs concentration (Tissue/Blood)

Appendix-1a Distribution of Radioactivity in cattle body (A-site)

sample ID	Activity of radionuclide in cattles' tissue (Bq/kg)															
	Radiocesium (¹³⁷ Cs)					Radiocesium (¹³⁴ Cs)										
	Blood	Muscle (N)	Muscle (F)	Liver	Kidney	Heart	Spleen	Tongue	Blood	Muscle (N)	Muscle (F)	Liver	Kidney	Heart	Spleen	Tongue
Mature-1	11	269	350	92	234	201	164	274	11	240	299	70	204	155	133	223
Mature-2	28	814	1074	281	549	487	378	753	22	677	869	230	447	400	301	614
Mature-3	16	345	452	191	417	276	211	311	15	299	367	160	340	234	180	253
Mature-4	19	524	563	185	346	261	182	471	15	430	475	155	290	222	146	382
Mature-5	16	450	495	200	447	289	200	291	14	380	411	180	376	241	148	236
Mature-6	16	453	516	110	347	332	268	473	17	365	444	88	306	280	222	399
Mature-7	15	386	488	216	415	275	175	307	13	312	413	169	341	239	148	265
Mature-8	12	463	575	75	211	203	180	363	12	386	476	70	167	172	141	311
Mature-9	12	352	510	109	270	229	141	340	13	298	448	100	233	204	121	290
Mature-10	18	402	402	145	330	244	212	355	16	327	326	125	278	205	191	290
Fetus-1*1	×	247	405	223	×	×	197	×	×	213	347	185	×	×	177	×

sample ID	Activity of radionuclide in cattles' tissue (Bq/kg)															
	Radio silver (^{110m} Ag)					Radiotellurium (^{129m} Te)										
	Blood	Muscle (N)	Muscle (F)	Liver	Kidney	Heart	Spleen	Tongue	Blood	Muscle (N)	Muscle (F)	Liver	Kidney	Heart	Spleen	Tongue
Mature-1	-	-	-	98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mature-2	-	-	-	165	-	-	-	-	-	-	-	-	540	-	-	-
Mature-3	-	-	-	98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mature-4	-	-	-	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mature-5	-	-	-	126	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mature-6	-	-	-	85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mature-7	-	-	-	46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mature-8	-	-	-	89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mature-9	-	-	-	158	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mature-10	-	-	-	47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fetus-1*1	×	-	-	-	×	×	-	×	×	-	-	-	×	×	-	×

Muscle (N) : neck muscle Muscle (F) : femur muscle Femur-1 : baby of Mature-1

Appendix-1b Distribution of Radioactivity in cattle body (A-site)

sample ID	Activity of radionuclide in cattles' tissue (Bq/kg)					
	Radiocesium (¹³⁷ Cs)			Radiocesium (¹³⁴ Cs)		
	Blood	Muscle (N)	Muscle (F)	Blood	Muscle (N)	Muscle (F)
Mature-A11	3	84	108	2	68	89
Mature-A12	13	319	411	11	259	338
Mature-A13	10	335	396	8	271	326
Mature-A14	12	256	321	10	207	264
Mature-A15	16	598	810	18	531	700
Mature-A16	21	680	950	18	603	821
Mature-A17	25	499	722	22	442	624
Mature-A18	11	337	341	9	299	294
Mature-A19	17	422	485	16	375	419
Mature-A20	32	850	934	31	754	808
Mature-A21	15	334	532	14	307	490
Mature-A22	7	84	106	6	74	93

Muscle (N) : neck muscle Muscle (F) : femur muscle

Appendix-2 Distribution of Radioactivity in cattle body (B-site)

sample ID	Activity of radionuclide in cattles' tissue (Bq/kg)			
	Radiocesium (¹³⁷ Cs)		Radiocesium (¹³⁴ Cs)	
	Blood	Muscle (N)	Blood	Muscle (N)
Mature-B1	91	3,271	61	2,211
Mature-B2	138	2,192	90	1,466
Mature-B3	89	1,919	56	1,274
Mature-B4	68	1,795	46	1,193
Mature-B5	84	2,407	56	1,642
Mature-B6	64	1,757	45	1,174
Mature-B7	81	2,139	51	1,454
Mature-B8	159	3,553	101	2,239
Mature-B9	694	14,624	448	9,319
Mature-B10	698	15,084	438	9,423
Mature-B11	555	15,503	341	9,804
Mature-B12	693	13,603	445	8,696
Mature-B13	367	6,012	236	3,825
Mature-B14	557	13,836	349	8,663
Mature-B15	940	19,470	592	12,197
Mature-B16	319	8,666	212	5,424
Mature-B17	533	12,061	330	7,604
Mature-B18	166	4,769	102	2,998
Mature-B19	178	6,406	112	3,962
Mature-B20	252	4,794	160	3,018
Mature-B21	38	948	24	591
Mature-B22	16	319	12	194
Mature-B23	24	734	14	460
Mature-B24	68	1,950	45	1,234

Muscle (N) : neck muscle

Table-1 Accumulative property of radiocesium

Tissue	B_i	w_i	Accumulative property		
			This work	sheep ⁸⁾	human ¹⁰⁾
Muscle	34	0.36	0.01	0.02	0.002
Liver	10	0.02	0.7	0.49	0.11
Kidney	22	0.004	1.6	1.31	0.47
Heart	17	0.004	2.4	—	0.58
Spleen	13	0.002	5.4	—	0.95

 B_i : Ratio of ¹³⁷Cs concentration (Tissue / Blood) w_i : Relative weight of tissueAccumulative property : Ratio of transfer coefficient
([Tissue → Blood] / [Blood → Tissue])

示すように、他の内臓組織と比較して、筋肉に放射性セシウムが蓄積し易いことが明らかになった^{5) 12)}。

4. ま と め

福島第一原子力発電所の事故は、福島県内の広範な地域に、放射性Csによる環境汚染をもたらした。今回、汚染された餌を摂取したウシの血液中と内臓組織中の¹³⁷Cs濃度を測定し、コンパートメントモデルを用いて牛の体内での代謝の解析を行った。その結果、血液と内臓組織に含まれる¹³⁷Cs濃度には、広い濃度範囲で線形相関が存在することが明らかになった。また、¹³⁷Csが筋肉に蓄積し易いことも明らかになった。

本資料は、ウシの体内での放射性元素の分布を臓器別に示した詳細データであり、今回の研究では、この資料に基づいてコンパートメントモデルによる解析を

行った。この詳細データが、畜産業のみならず、哺乳類の体内での放射性セシウムの代謝に関する研究に、広く利用されることを願っている。

5. 謝 辞

本研究を行うにあたり、大切な飼育牛を提供してくださった畜産農家の皆様に心から感謝いたします。また、検体の採取にご協力いただきました福島県の農業総合センター畜産研究所の職員の皆様に心から感謝いたします。

本研究は、科研費基盤研究C (24510006) の助成を受けて行われました。

6. 参考文献

- 1) 文部科学省, 放射線量等分布マップ拡大版, <http://ramap.jaea.go.jp/map/> (2011)
- 2) Endo S., Kimura S., Takatsuji T., Imanaka T. and Shizuma K., *J. Environ. Radioact.* 111, 18-27 (2011)
- 3) 福本学 *アイソトープニュース* 696, 10-12 (2012)
- 4) Sasaki K., Hayashi M., Narita T., Motoyama M., Oe M., Ojima K., Nakajima I., Muroya S., Chikuni K., Aikawa K., Ide Y., Nakanishi N., Suzuki N., Shioya S. and Takenaka A., *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 76 1596-1599 (2012)
- 5) 高瀬つぎ子 高貝慶隆 内田守譜 難波謙二 大槻勤 村松 康行 *RADIOISOTOPES* 印刷中
- 6) Assimokopoulos P.A., Ioannides K.G., Karamanis D., Lagoyannis A., Pakou A.A., Koutsotolis K., Nikolaou E., Arkhipov A., Arkhipov N., Gashak S., Kuman A. and Chizhevsky I., *Health Physics* 69 410-414 (1995)
- 7) Voigt G., Henrichs K., Prohl G. and Paretzke H.G., *Radiat. Environ. Biophys.*, 27, 143-152 (1988)
- 8) Galer A.M., Crout N.M.J., Beresford N.A., Howard B.J., Mayes R.W., Barnett C.L., Eayres H.F. and Lam C.S., *J. Environ. Radioact.* 20, 35-48 (1993)
- 9) N.M.J. Crout, Beresford N.A., Howard B.J., Mayes R.W., Assimakopoulos R.A. and Vandwcasteele C. M., *Radiat. Environ. Biophys.*, 35, 19-25 (1996)
- 10) Legget R.W., Williams L.R., Melo D.R. and Lipsztein J.L., *Sci. Total Environ.*, 317 235-255 (2003)
- 11) Beresford N. A., *Sci. Total Environ.*, 85 81-90 (1989)
- 12) 畜産大事典編集委員会, *新編畜産大事典*, 養賢堂,

東京 (1996)

* 『のら牛』: FDNPPの爆発事故まで, 畜産農家が飼育していた飼育牛 (黒毛和種)。政府による避難指示以降, 牛舎などへの囲い込みがなされず, やむなく, 飼育者の管理をはずれた飼育牛のこと。