

安定同位体セシウムを用いた子牛のセシウム体内移行抑制効果に関する予備的検討

山田 一孝^{1, 2)} ☆, 山口 敏朗²⁾, 陳 忠正²⁾, 稲沢 直生実¹⁾, 石井 三都夫^{1, 2)},
佐々木 基樹^{2, 3)}, 木田 克弥⁴⁾, 岸本 海織^{2, 5)}, 古濱 和久^{2, 6)}

- 1) 帯広畜産大学臨床獣医学研究部門 (〒080-8555 北海道帯広市稲田町西2線11番地)
- 2) 岐阜大学大学院連合獣医学研究科 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1-1)
- 3) 帯広畜産大学基礎獣医学研究部門 (〒080-8555 北海道帯広市稲田町西2線11番地)
- 4) 帯広畜産大学畜産フィールド科学センター (〒080-8555 北海道帯広市稲田町西2線11番地)
- 5) 東京農工大学農学部共同獣医学科 (〒183-8509 東京都府中市幸町3丁目5番地)
- 6) 岩手大学農学部共同獣医学科 (〒020-8550 岩手県盛岡市上田3丁目18番地)

☆連絡責任者: 山田 一孝 (帯広畜産大学臨床獣医学研究部門)
〒080-8555 北海道帯広市稲田西2線11番地

Preliminary Experiment on the Suppression of Cesium Uptake into the Organs by Bentonite Using a Stable Isotope of Cesium in Calves

Kazutaka YAMADA^{1,2)}, Toshiro YAMAGUCHI²⁾, Chun Jen CHEN²⁾, Naomi INAZAWA¹⁾, Mitsuo ISHII^{1,2)},
Motoki SASAKI^{2,3)}, Katsuya KIDA⁴⁾, Miori KISHIMOTO^{2,5)}, Kazuhisa FURUHAMA^{2,6)}

¹⁾Department of Applied Veterinary Medicine, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Nishi 2-11,
Inada-cho, Obihiro-shi, 080-8555, Japan

²⁾The United Graduate School of Veterinary Science, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu-shi, Gifu 501-1193, Japan

³⁾Department of Basic Veterinary Medicine, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Nishi 2-11,
Inada-cho, Obihiro-shi, 080-8555, Japan

⁴⁾Department of Animal and Food Hygiene, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Nishi 2-11,
Inada-cho, Obihiro-shi, 080-8555, Japan

⁵⁾Cooperative Department of Veterinary Medicine, Tokyo University of Agriculture and Technology, 3-5-8 Saiwai-cho,
Fuchu-shi, Tokyo 183-8509, Japan

⁶⁾Cooperative Department of Veterinary Medicine, Iwate University, 3-18-8 Ueda, Morioka-shi, Iwate 020-8550,
Japan

(Received 17 December 2012 / Accepted 22 February 2013)

SUMMARY : The aim of this experiment was to evaluate to what degree bentonite was able to suppress cesium (Cs)-transfer to the organs. Six healthy Holstein-Friesian calves were administered cesium chloride (CsCl), a compound of a stable isotopic Cs, with powdered milk solution for 28 days (3.0mg CsCl/kg/day). At the same time, three of the six calves were also given bentonite (0.5w/v %); the other three were used as controls. Blood samples were taken on days 0, 1, 2, 3, 7, 14, 21, and 28 of the experiment, and tissues were collected from the skeletal muscle, heart, liver, kidney, and feces on day 28. The concentrations of Cs in the samples were measured by ICP-MS (inductively coupled plasma mass spectrometry). The average Cs concentration in blood corpuscles from the bentonate group was lower than that of the control group until day 14, although the concentrations in the tissues of the above organs were not clear. This suggests that bentonite may reduce Cs-transfer to the living body.

KEY WORDS : bentonite, calf, cesium chloride

(J Anim Clin Med. 22 (1)31-34, 2013)

要約：ベントナイトのセシウム体内移行抑制効果について調べた。実験には、ホルスタイン種子牛6頭を使用し、28日の実験期間中、全頭に安定同位体の塩化セシウム (3.0 mg/kg/day) を人工乳に溶解し、投与した。塩化セシウムに加えベントナイト 0.5 w/v% を人工乳に懸濁した投与群 (n=3) と塩化セシウムのみの対照群 (n=3) の2群を設定した。実験開始0, 1, 2, 3, 7, 14, 21 および28日目に採血、28日目に骨格筋、心臓、肝臓、腎臓および糞便を採材し、ICP-MS (inductively coupled plasma mass spectrometry) によるセシウム濃度を測定した。臓器中のセシウム濃度からベントナイトの効果は明らかではなかったが、血球中セシウム濃度平均値は投与後14日まで投与群が対照群よりも低値を示した。このことから、ベントナイトによるセシウム体内移行抑制効果の可能性が示唆された。

キーワード：ベントナイト、子牛、塩化セシウム

(動物臨床医学 22(1)31-34, 2013)

はじめに

1986年のチェルノブイリ原子力発電所放射性同位元素漏れ事故では、農作物の放射性同位元素汚染に関連した人の健康被害が報告された[1-4]。2011年に発生した東日本大震災後の東京電力福島第一原子力発電所の放射性同位元素漏れ事故においても、屋外に放置した稲ワラを与えられた肉牛の放射性セシウム (Cs) 汚染が深刻な問題となった (<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000001jc5x.html>)。しかし、迅速な農産物の検査が徹底されたため、人に対する健康被害が発生する可能性は低いと考えられている (http://whqlibdoc.who.int/publications/2012/9789241503662_eng.pdf)。一方で、除染作業の長期化が懸念されており、食の安心・安全確保と福島の畜産復興のため、家畜が放射性同位元素に汚染されないよう飼養する方法の開発が望まれている。

チェルノブイリ原子力発電所事故後、家畜に対する放射性Csの除染剤として、プルシアンブルー、ゼオライト、カオリナイトといった吸着物質が使用されてきた[5, 6]。今回、カビ毒吸着飼料としてすでに市販されているベントナイト飼料に着目した。ベントナイトとは、モンモリロナイトを主成分とする粘土鉱物で、モンモリロナイトの結晶構造の層間の陽イオンとCs⁺が置換することが知られている[7]。

放射性同位元素を動物に投与する実験は、放射線管理区域内で行わなければならない。つまり、放射性同位元素である¹³⁴Csや¹³⁷Csは、放射線管理区域の外では使用することができない。そこで本研究では、安定同位体のCsとベントナイトを子牛に28日間経口投与し、ベントナイトのCs体内移行抑制効果について検討した。

材料および方法

本実験には、6頭のホルスタイン種哺乳子牛 (雄2頭、フリーマーチン4頭、平均38日齢、平均体重50.3 kg)

を用いた。子牛は、帯広市川西農業協同組合より購入し、1頭ずつ個別に飼育し、1週間馴化した後実験を開始した。28日間の実験期間中、水は自由飲水とし、Cesium Chloride (3.0 mg/kg/day, Csとして2.4 mg/kg/day, 和光純薬工業株式会社, 大阪) を溶解した人工乳 (ミルソフト, 株式会社科学飼料研究所, 東京) を、朝夕の2回各2Lずつ哺乳した。試験群は、CsClに加えベントナイト (0.5 w/v%, AB20, バイエル薬品株式会社, 大阪) を懸濁した投与群 (n=3) とCsClのみの対照群 (n=3) の2群とした。なお、CsClの投与量は、予備検討でICP-MS (inductively coupled plasma mass spectrometry, 誘導結合プラズマ質量分析法, ICP-MS 7500CS, アジレントテクノロジー社, 東京) により血球から検出可能な濃度を求め設定し、ベントナイトは、カビ毒吸着を目的とした標準的な投与量を採用した。

実験開始0, 1, 2, 3, 7, 14, 21 および28日の計8回、朝哺乳後に採血を行い、全血球算定は、白血球数、赤血球数、ヘモグロビン濃度、ヘマトクリット、平均赤血球容積、平均赤血球ヘモグロビン量、平均赤血球ヘモグロビン濃度および血小板数、血清生化学検査は、血清総蛋白、アルブミン、アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ、尿素窒素、クレアチニン、カルシウム、無機リンおよびマグネシウムの測定を実施した。

投与最終日の朝哺乳および採血後、帯広畜産大学健体解剖室にて安楽殺 (ペントバルビタール, ソムノペンチル[®], 共立製薬株式会社, 東京, 150 mg/kg, IV) を行い、骨格筋、心臓、肝臓、腎臓および直腸内糞便を採材した。採材した組織および採血8回分の血液のCs濃度をICP-MSにより測定した。その後、血液中Cs濃度およびヘマトクリット値から、血球中Cs濃度を算出した。計数値は、平均値±標準偏差で表し、n=3であるため統計解析は行わなかった。

本実験プロトコルは、国立大学法人帯広畜産大学動物実験委員会に承認された (第24-67)。

結 果

血球中 Cs 濃度平均値は、実験開始 1, 2, 3, 7 および 14 日において、対照群に比べ、投与群で低い値を示し、21 日以降は、ほぼ同じ値を示した (Fig. 1)。また、骨格筋、心臓、肝臓、腎臓および糞便中の Cs 濃度平均値は、いずれもベントナイト投与群が対照群よりも高い値を示した (Fig. 2)。

なお、実験期間中、一般状態の異常は観察されず、全血球算定および血清生化学検査においても、投与群と対照群との間に顕著な値の差は認めなかった。

考 察

核分裂で生成された放射性 Cs と安定同位体 Cs は、化学的には同じ元素であるため、今回の実験では放射線を放出しない安定同位体の CsCl 試薬を使用した。血球、臓器および糞便中の Cs 濃度は ICP-MS で測定したが、いずれのサンプルからも測定が可能であった。したがって、放射線管理区域外であっても、安定同位体 Cs を用いて実験を行うことで、結果を除染研究に外挿できると推察された。

本実験は、動物数各群 3 頭で行ったため、有意差検定を実施していないが、血球中 Cs 濃度平均値は、投与 14 日までベントナイト投与群で低値を、21 日以降はほぼ同じ値を示した。このことは、21 日以降、投与群と対照群は、いずれも平衡状態に達していたと考えられた。14 日時点で臓器の採材を行えば、ベントナイトによる Cs 体内移行抑制効果を認めたかもしれない。

糞便中 Cs 濃度平均値は、投与群が対照群よりも高値を示し、ベントナイトが Cs を吸着する可能性が示唆された。一方、骨格筋、心臓、肝臓、および腎臓の Cs 濃度平均値においても投与群が高値を示した。この原因は不明であり、今後動物数を増やして、さらなる検討が必要である。今回の実験における骨格筋への Cs の移行係数は、 $F_t=0.15-0.18 \text{ day/kg}$ で、放射性 Cs における既発表[8]の範囲内であり ($F_t=0.04-0.56 \text{ day/kg}$)、CsCl は確実に投与されていたことが確認された。なお、肥育牛は粗飼料と配合飼料によって飼養される。今回は、哺乳子牛を使用したため、消化管内の pH の違いによってベントナイトと Cs との結合は異なった可能性がある。そこで、このために、今後成牛で追加試験を行う予定である。

さらに、ベントナイトの安全性に関しては、投与に関連した異常症状、全血球算定および血清生化学検査に影響を認めなかった。カビ毒吸着飼料は、生体のミネラルを吸着するため、低カルシウム血症や低マグネシウム血症発症の可能性について報告があるが [9]、

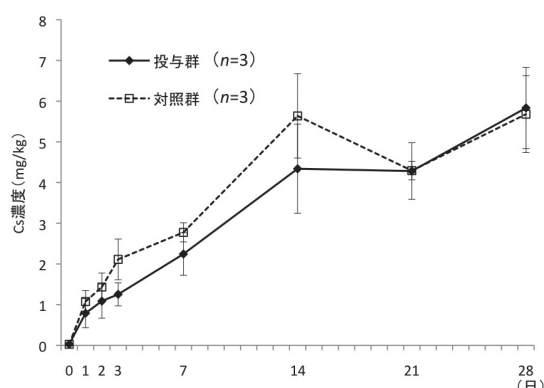


Fig. 1 ベントナイト 28 日間経口投与哺乳子牛における血球中セシウム濃度の経時の変化。血球中 Cs 濃度平均値は、実験開始 14 日目まで投与群で低値を示した。

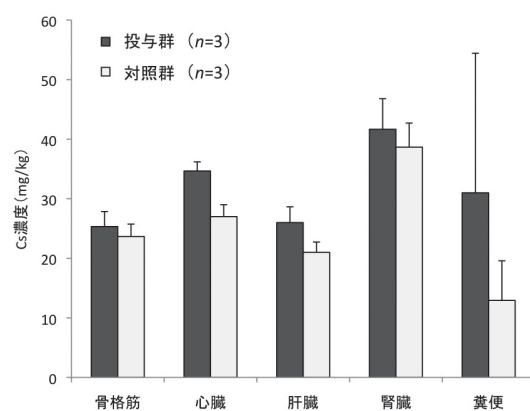


Fig. 2 ベントナイト 28 日間経口投与後の哺乳子牛の臓器および糞便中のセシウム濃度。骨格筋、心臓、肝臓、腎臓および糞便中の Cs 濃度平均値は、いずれも投与群が高値を示した。

今回の実験に使用したベントナイトの投与量 (0.5 w/v%) では、動物に有害な作用は発現しないと考えられた。

今回の実験では骨格筋と心筋で Cs 濃度に顕著な差は認められなかった。われわれが以前実施した福島第一原子力発電所 20 km 圏内で飼育されていた豚の調査では、放射性 Cs は心臓よりも骨格筋で高値を示した[10]。この理由として、内部汚染豚が清浄区域移動後に組織の採材が行われたため、Cs の摂取がない状況では、活動性の高い心筋は骨格筋よりも短期間で排出されたと考えられた。したがって、Cs の排出を促進するために、家畜の運動負荷も一つの方法と推察された。

今回、血球中 Cs 濃度平均値は実験開始 14 日まで投与群が低値を示したことから、ベントナイトによる Cs 体内移行抑制効果の可能性が示唆された。今後、CsCl の用量を減量するか、ベントナイトの投与量を増量することで、ベントナイトの抑制効果を明確化できると考えられた。牛肉の放射性 Cs 濃度暫定基準値 (100 Bq/kg) を全て ^{137}Cs と仮定した場合、1kg あたりの Cs

としての質量は、わずか0.03 ng 程度である。このことから、汚染地域での家畜飼育にあたり、ベントナイトによる放射性Csの吸着効果は十分に期待できると考えられた。

謝 辞

本研究は、一般社団法人国立大学協会平成24年度震災復興・日本再生支援事業および岐阜大学大学院連合獣医学研究科研究科長裁量経費によって実施された。

引 用 文 献

- 1) Morimura K, Romanenko A, Min W, Salim EI, Kinoshita A, Wanibuchi H, et al : Possible distinct molecular carcinogenic pathways for bladder cancer in Ukraine, before and after the Chernobyl disaster. *Oncology Reports*, 11, 881-886 (2004)
- 2) Kazakov V, Demidchik EP, Astakhova LN: Thyroid cancer after Chernobyl. *Nature*, 359, 21-22 (1992)
- 3) Romanenko A, Kakehayashi A, Morimura K, Wanibuchi H, Wei M, Vozianov A, et al : Urinary bladder carcinogenesis induced by chronic exposure to persistent low-dose ionizing radiation after Chernobyl accident. *Carcinogenesis*, 30, 1821-1831 (2009)
- 4) Bleuer JP, Averkin YI, Abelin T : Chernobyl-related thyroid cancer : What evidence for role of short-lived iodines?. *Environ Health Perspect*, 105, 1483-1486 (1997)
- 5) Leitgeb R, Ratheiser N : Use of different substances as decontaminators of ^{137}Cs and ^{134}Cs in bulls, cows and calves. *Environ Contam Follow Major Nucl Accid*, 2, 234-236 (1990)
- 6) Birgitta Å, Sevald F, Gustaf Å : Zeolite and bentonite as caesium binders in reindeer feed. *Rangifer*, 3, 73-82 (1990)
- 7) Staunton S, Roubaud M : Absorption of ^{137}Cs on montmorillonite and illite: effect of charge compensating cation, ionic strength, concentration of Cs, K and fulvic acid. *Clays and Clay Minerals*, 45, 251-260 (1997)
- 8) Coughtrey PJ : Radiation protection radioactivity transfer to animal products. Report EUR 12608 EN, 34-41, Commission of the European Communities (1990)
- 9) Schell TC, Lindemann MD, Kornegay ET, Blodgett DJ : Effects of feeding aflatoxin-contaminated diets with and without clay to weanling and growing pigs on performance, liver function, and mineral metabolism. *J Anim Sci*, 71, 1209-1218 (1993)
- 10) Yamada K, Yamaguchi T, Sawano K, Kishimoto M, Furuhashi K : Radioactive contamination of a pig raised at a farm within 20km of the Fukushima Daiichi nuclear power plant. *Radioisotopes*, 61, 129-132 (2012)