

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 15 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26660053

研究課題名(和文) バイオフィースによる放射性セシウムの生体除染

研究課題名(英文) Decontamination of radioactive cesium by intestinal and probiotic bacteria

研究代表者

磯貝 恵美子 (Isogai, Emiko)

東北大学・農学研究科・教授

研究者番号：80113570

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：2011年3月、福島第一原子力発電所の爆発事故によって大気中に放出された放射性物質は広範な環境汚染をもたらした。本研究では、被さい牛の放射性Csの糞便からの排出を検証し、微生物による生体からの効果的除染方法の基盤を確立することを目的とした。

被さい牛では放射性Csが種々の臓器および糞便から検出された。放射性Csの濃度は糞便で高かった。このことは腸内フローラ構成細菌が積極的に放射性Csを取り込んだためと考えられた。腸内フローラ構成細菌の放射性Csの取り込み率は38-81%と高かった。プロバイオティック細菌の取り込み率は低かったが、評価用培地のK濃度が関与すると考えられた。

研究成果の概要(英文)：Large amounts of radioactive materials emitted by the Fukushima Daiichi nuclear power plant (FNPP) accident in March 2011 have led to a heavy environmental pollution.

GE gamma-ray spectrometry detected peaks from Cs-134 and Cs-137 in the organs and fecal samples of cattle. The concentration of radioactive Cs was high in the fecal samples. It was considered that the intestinal bacteria could uptake and eliminate radioactive Cs. Actually, uptake % ranged from 38 to 81 in various intestinal bacteria. Although we tried uptake of radioactive Cs by probiotic bacteria, the uptake % is low. The difference between intestinal bacteria and probiotic bacteria was based on the assay medium. Our result suggested that K inhibit the uptake of radioactive Cs.

研究分野：動物微生物学

キーワード：放射性セシウム 腸内フローラ プロバイオティック細菌 福島原発事故 生体除染 カリウム

1. 研究開始当初の背景

申請者らは福島原発警戒区域内において被災家畜の包括的線量評価研究を行っている。これらの成果は国内外の学会での報告とともに、2013年度のPLoS One、Radiation Emergency Medicineなどに掲載された。放射性セシウムの体内動態の概略図を図1に示す。体内動態を明らかにする中でイノブタなどでは糞便中の濃度は筋肉を含めた臓器・組織に比べて非常に高い値であることを見出した。

これまでチェルノブイリ原発事故後に放射性Csに結合し、除染や体外排出を促進する物質としてプルシアンブルーや活性炭の効果は大量の放射性Csを摂取したときに効果を認めるが、低濃度の放射性セシウムの吸着効果は期待できないことが報告されている。そのため、食品中の放射性セシウム100 Bq/kg未満に対応する新たな生体内除染方法が必須であると考えた。

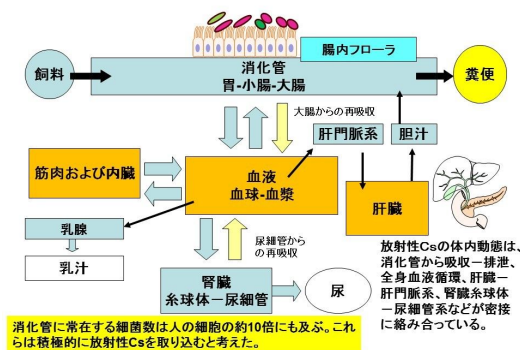


図1. 放射性Cs体内動態と腸内フローラの役割

2. 研究の目的

放射性Csの排出は尿や糞便を介してKと同様に排出されると考えられてきた。排出の主要経路として糞便を介しての排出の意義を知ることため、被災牛において諸臓器および糞便の放射性Cs濃度と糞便の検証することを第1の目的とした。第2に、腸内フローラ構成細菌による放射性Csの取り込みを調べ、被災対策の立場から腸内フローラ構成細菌の新規の機能が明らかにするために放射性Cs取り込み実験を行った。また、安全性が既知であり、かつ安価な生体内除染効果が期待できるプロバイオティクス細菌による放射性Cs取り込み実験を行った。腸内フローラ構成細菌およびプロバイオティクス細菌による放射性Csの取り込みを調べるとともに、放射性Csの取り込み阻害をもたらすと考えられるKの影響を検討した。

3. 研究の方法

福島原発20 km圏内の安楽死したウシから臓器や糞便を採取し、放射性Cs濃度をゲルマニウム測定装置によって測定した。

腸内フローラ構成細菌による放射性Csの取り込みを調べるために *Bifidobacterium longum*, *Clostridium perfringens*, *C. ramosum*, *Bacteroides fragilis*, *B. vulgatus* を供試菌として用いた。またプロバイオティクス細菌としては

Bifidobacterium longum, *B. breve*, *Lactobacillus gasseri*, *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* を用いた。培地は、腸内フローラ構成細菌にはBHI培地、プロバイオティクス細菌にはMRS培地を用いて菌を培養した。培地には福島原発旧警戒区域でサンプリングされた骨格筋から調整したブイオンを添加した。培養後、菌体と培地を分離し、それぞれの放射線量をゲルマニウム測定装置で測定した。Kイオン濃度が放射性Csの取り込みに影響するかどうかを、評価用培地を新たに作成することで調べた。

4. 研究成果

(1) 筋肉および様々な臓器から放射性Csを検出した。骨格肉が最も高いレベルとされてきたが、糞便では骨格筋よりも高い放射性Csを検出した。これらのウシでは、必ずしも尿が主要排出経路ではなく、糞便からの排出が主要となっていた。これらのことから、ウシ体内の腸内フローラ細菌が放射性Csを取り込み、積極的に生体内除染に寄与していると考えた。

(2) BHI培地では放射性Csの取り込み率は高かったが(38~81%)、MRS培地では低かった(2~12%)。培地のKイオン濃度を測定したところ、MRS培地では1466 ppm、BHI培地では223 ppmであり、MRS培地のカリウムイオン濃度はBHI培地よりも有意に高かった。プロバイオティクス細菌のうち特定の株は他と比べて2~6倍高い取り込み率を示し、K存在下でも活発に放射性Csを取り込んだ。本結果から、Kイオンと同様に、同族のCsを取り込み、取り込み率の差は個々の細菌の能力だけでなく各培地間のKイオン濃度が結果に影響すると考えた。

(3) 低K含量かつMRS培地同等に生育できる培地を用いることによって、プロバイオティクス細菌の放射性Csの取り込み評価を試みた。評価用低K含量Skim milk(LKSM)培地において炭素源となるグルコースや窒素源となるprotease peptoneやyeast extractを添加することで、プロバイオティクス細菌の培養に成功した。LKSM培地でのプロバイオティクス細菌の生育はMRS培地と同等であることを確認したため、この培地を用いて新たに放射性Cs取り込みを行った。同時に、Kイオン濃度をMRSレベルまで上昇させた改良BHI培地で放射性Csの取り込み実験を行い、放射性Csの取り込みにKが影響するのか検討した。LKSM培地での取り込み実験では、どの菌株でも取り込み率が約2倍に上昇した。しかし、Kイオン濃度を下げたSkim milk培地でも取り込み率は低く、さらなる条件の検討が必要だと判明した。改良BHI培地での取り込み実験では、BHI培地での取り込みと比較して大幅に取り込み率が下がった。BHI培地での取り込み実験で、最も高い取り込み率を示した *B. vulgatus* (81%) でも、22%まで取り込み率が下がった。以上の結果から、Kイオン濃度が放射性Csの取り込みに影響す

ることがわかった。
ウシの糞便から骨格筋よりも高い放射性 Cs が検出されことは腸内フローラ細菌の放射性 Cs 取り込みが生体除染に役立つことが示された。放射性 Cs 取り込み実験から K イオンの存在によって放射性 Cs の取り込み率は大きく変化した。プロバイオティック細菌は BHI 培地での増殖は不十分もしくは増殖できないため、MRS 培地を用いた。MRS 培地では K が高い濃度で含まれているため、取り込み率が低い結果となった。放射性 Cs の取り込みを評価する場合には、どのような培地を使用するかで取り込み率が異なった。少なくとも新たに考案した LKSM 培地のような培地での検討が必要といえる。プロバイオティック細菌は K をよく取り込む細菌でもあるため、高 K 食品の摂取している場合でも生体内除染に寄与する可能性が考えられた。より高い放射性 Cs を取り込むプロバイオティック細菌を選別することによって、その細菌を用いたヨーグルトなどの機能性食品に付加価値を与えることができるかもしれない。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6 件)

Urushihara Y, Kawasumi K, Endo S, Tanaka K, Hirakawa Y, Hayashi G, Sekine T, Kino Y, Kuwahara Y, Suzuki M, Fukumoto M, Yamashiro H, Abe Y, Fukuda T, Shinoda H, Isogai E, Arai T, Fukumoto M, Analysis of plasma protein concentrations and enzyme activities in cattle within the ex-evacuation zone of Fukushima Daiichi Nuclear Plant accident, PLoS One, 2016, 11: e0155069, doi: 10.1371/journal.pone.0155069 (査読あり)

Koarai K, Kino Y, Takahashi A, Suzuki T, Shimizu Y, Chiba M, Osaka K, Sasaki K, Fukuda T, Isogai E, Yamashiro H, Oka T, Sekine T, Fukumoto M, Shinoda H. ⁹⁰Sr in teeth of cattle abandoned in evacuation zone: Record of pollution from the Fukushima-Daiichi Nuclear Power Plant accident, Sci Rep, 2016, 6: 24077. doi: 10.1038/srep24077 (査読あり)

Fukuda T, Hiji M, Kino Y, Abe Y, Yamashiro H, Kobayashi J, Shimizu Y, Takahashi A, Suzuki T, Chiba M, Inoue K, Kuwahara Y, Morimoto M, Katayama M, Donai K, Shinoda H, Sekine T, Fukumoto M, Isogai E. Software development for estimating the cesium radioactivity in skeletal muscle from that in blood of cattle, Anim Sci J, 2016, 87: 842-847, doi: 10.1111/asj.12490 (査読あり)

Takahashi S, Inoue K, Suzuki M, Urushihara Y, Kuwahara Y, Hayashi G, Kino Y, Sekine T, Abe Y, Fukuda T, Isogai E, Yamashiro H, Fukumoto M. A comprehensive dose evaluation project concerning animals affected by the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident: its set-up and progress. J Radiation Res, 2016, 56: i36-i41, doi:10.1093/jrr/trv069 (査読あり)

Yamashiro H, Abe Y, Hayashi G, Urushihara Y,

Kuwahara Y, Suzuki M, Kobayashi J, Kino Y, Fukuda T, Tong B, Takino S, Sugano Y, Iwashima R, Yamada T, Isogai E, Fukumoto M. Electron probe X-ray microanalysis of boar and inobuta testes after the Fukushima accident, J Radiation Res, 2015, 56: i42-i47, doi:10.1093/jrr/trv070 (査読あり)

Fukuda T, Kino Y, Abe Y, Yamashiro H, Kobayashi J, Shimizu Y, Takahashi A, Suzuki T, Chiba M, Takahashi S, Inoue K, Kuwahara Y, Morimoto M, Shinoda H, Hiji M, Sekine T, Fukumoto M, Isogai E. Cesium radioactivity in peripheral blood is linearly correlated to that in skeletal muscle, Anim Sci J, 2014, 86: 120-124, doi: 10.1111/asj.12301 (査読あり)

〔学会発表等〕(計 18 件)

齋藤和輝、木野康志、黒田健吾、西村順子、関根 勉、福田智一、福本 学、山城秀昭、小林 仁、篠田 壽、西田典永、河野麻実子、磯貝恵美子、腸内フローラ構成細菌を中心とした細菌による生体内除染、第 122 回日本畜産学会総会、神戸大学、神戸、2017 年 3 月 27 - 30 日

齋藤和輝、黒田健吾、西村順子、磯貝恵美子、腸内フローラ構成細菌およびプロバイオティック細菌の低線量放射性 Cs 取り込み、第 90 回日本細菌学会総会、仙台国際センター、仙台、2017 年 3 月 19-21 日

Saito K, Kuroda K, Sekine T, Fukumoto M, Kino Y, Fukuda T, Yamashiro H, Shinoda H, Isogai H, Kobayashi J, Nishimura J, Abe Y, Nishida T, Kouno M, Isogai E, Uptake of radioactive cesium by intestinal and probiotics bacteria, The 14th International Symposium of Integrated Field Science, Tohoku University, Sendai, Japan, 2016.11.26-28

齋藤和輝、黒田健吾、関根 勉、福田智一、木野康志、福本 学、山城秀昭、小林 仁、篠田 壽、西村順子、西田典永、河野麻実子、磯貝恵美子、プロバイオティクス細菌による新たな生体内除染方法の探索、第 70 回日本細菌学会東北支部総会、北里大学、十和田、2016 年 8 月 18 - 19 日

磯貝恵美子、生体内汚染を克服するために(アジアそして世界を視野に入れた科学的取り組み) 日本リスク研究学会第 28 回年次大会(特別講演) 名古屋大学、名古屋、2015 年 11 月 20 - 22 日

磯貝恵美子、被災動物における放射性物質の動態と影響(基調講演) リスクコミュニケーションシンポジウム、東北大学、仙台、2015 年 7 月 27 日

磯貝恵美子、被災動物調査研究グループ、残された家畜たち - 福島原発事故の影響調査、第 23 回ダニと疾患のインターフェイス (SADI)、名取市文化会館、名取、2015 年 6 月 26 - 28 日

Isogai E, Kino Y, Abe Y, Yamashiro H M, Shinoda H, Fukuda T, Yoneyama H, Isogai

H, Kobayashi J, Kuroda K, Sekine T, Fukumoto M, Distribution of Radioactive Cesium in semi-domesticated animals after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident, 15th International Congress of Radiation Research (ICRR2015), Kyoto International Conference Center, Kyoto, 2015. 5.25-29

Kuroda K, Suzuki R, Sekine T, Fukumoto M, Fukuda T, Isogai E, Uptake of radioactive cesium by the major member of intestinal flora, genus Bifidobacterium, Lactobacillus, Clostridium, and Bacteroides, 15th International Congress of Radiation Research (ICRR2015), Kyoto International Conference center, Kyoto, 2015. 5.25-29

山城秀昭, 阿部靖之, 桑原義和, 漆原佑介, 井上和也, 鈴木正敏, トウピン, 瀧野祥生, 菅野有晃, 岩島玲奈, 大段隆史, 藤 晋一, 木野康志, 福田智一, 磯貝恵美子, 福本 学, DNA濃縮技術を用いた被災ウシの経世代的エクソン領域解析, 第 57 回放射線影響学会, かがしま県民交流センター, 鹿児島, 2014 年 10 月 1 - 3 日

漆原 佑介, 川角 浩, 平川 泰子, 木野 康志, 関根 勉, 桑原 義和, 鈴木 正敏, 井上和也, 高橋慎太郎, 山城秀昭, 阿部靖之, 磯貝恵美子, 篠田 壽, 新井 敏郎, 福本 学, 福島原発事故被災牛の血漿生化学検査と病理解析による被ばく影響評価, 第 57 回放射線影響学会, かがしま県民交流センター, 鹿児島, 2014 年 10 月 1 - 3 日

千葉美麗, 清水良央, 高橋 温, 鈴木敏彦, 小荒井一真, 木野康志, 小坂 健, 福田智一, 関根 勉, 磯貝恵美子, 福本 学, 篠田 壽, 福島第一原発事故による被災牛の硬組織に取り込まれた放射性物質の濃度と分布様相, 第 57 回放射線影響学会, かがしま県民交流センター, 鹿児島, 2014 年 10 月 1 - 3 日

清水良央, 鈴木敏彦, 漆原佑介, 高橋 温, 千葉美麗, 小坂 健, 福田智一, 小荒井 一真, 木野康志, 関根 勉, 磯貝恵美子, 篠田 壽, 福本 学, 福島第一原発事故被災ニホンザルの全身骨組織への放射性物質取り込み, 第 57 回放射線影響学会, かがしま県民交流センター, 鹿児島, 2014 年 10 月 1 - 3 日

小荒井一真, 木野康志, 高橋 温, 鈴木敏彦, 清水良央, 千葉美麗, 小坂 健, 福田智一, 磯貝恵美子, 岡 壽崇, 関根 勉, 福本 学, 篠田 壽, 福島第一原発事故に伴う旧警戒区域内の被災動物歯質中放射性 Sr の比放射能測定, 第 57 回放射線影響学会, かがしま県民交流センター, 鹿児島, 2014 年 10 月 1 - 3 日

高橋 温, 岡 壽崇, 木野 康志, 鈴木 敏彦, 清水 良央, 千葉 美麗, 福田 智一, 磯貝恵美子, 関根 勉, 福本 学, 篠田 壽, 歯を用いた野生サルの外部被曝量の測定—ESR 法を用いた検討—, 第 57 回放射線影響学会, かがしま県民交流センター, 鹿児島,

2014 年 10 月 1 - 3 日

森本素子, 小林 仁, 桑原義和, 木野康志, 阿部靖之, 関根 勉, 福田智一, 磯貝恵美子, 福本 学, 福島原発警戒区域内に飼育されていたブタの消化管における遺伝子発現の変化, 第 57 回放射線影響学会, かがしま県民交流センター, 鹿児島, 2014 年 10 月 1 - 3 日

磯貝恵美子, 被災動物から学ぶ放射性物質の体内動態と畜産物の安全確保 (みやぎ県民大学, 3 都市におけるリスクコミュニケーション), 東北大学, 仙台, 2014 年 9 月 3 日

磯貝恵美子, 放射性物質の体内動態と安全な畜産に向けての取組み, 家畜と農地の管理研究会シンポジウム(シンポジウム講演) 東京大学, 東京, 2014 年 7 月 26 日

〔図書〕(計 1 件)

Yamashiro H, Abe Y, Kuwahara Y, Fukuda T, Kino Y, Inoue K, Fukumoto M, Kobayashi J, Tong B, Takino S, Yamada T, Sekine T, Isogai E, Fukumoto M. Cryopreservation of cattle, pig, inobuta sperm and oocyte after the Fukushima nuclear plant accident. Cryopreservation. chapter 5, pp.63-81, InTech, <http://dx.doi.org/10.5772/58629> (2014)

〔産業財産権〕

出願状況(計 1 件)

名称: 放射性物質回収剤

発明者: 磯貝恵美子, 関根 勉, 黒田健吾, 西田典永, 河野麻実子

権利者: 森下仁丹株式会社

種類: 特許願

番号: P1-13M03112

出願年月日: 平成 27 年 2 月 19 日

国内外の別: 国内

〔その他〕

特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

磯貝 恵美子 (ISOGAI, EMIKO)

東北大学・大学院農学研究科・教授

研究者番号: 80113570

(2) 研究分担者

関根 勉 (SEKINE, TSUTOMU)

東北大学・大学院高等教育開発センター・教授

研究者番号: 20154651

(3) 連携研究者

西村順子 (NISHIMURA, JYUNNKO)

八戸工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 10241556