

国産牛乳におけるセシウム-137の移行係数に関する研究

誌名	畜産試験場研究報告 = Bulletin of the National Institute of Animal Industry
ISSN	0077488X
著者名	三橋,俊彦
発行元	農林省畜産試験場
巻/号	56号
掲載ページ	p. 1-6
発行年月	1996年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



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*
(畜産試験場生理部)

要 約

核爆発実験や原子力施設事故などで環境に人工放射能が放出されると、やがてその影響が牛乳にも現れ、食品の安全性という観点から問題となる。

牛乳への放射能汚染は主に乳牛が摂取する飼料を介して起こるが、その場合、汚染された飼料中の放射能がどの程度牛乳に移行するかを明らかにすることが極めて重要である。チェルノブイリ原子力発電所の事故では多量の¹³⁷Csが環境に放出されたので、本研究では¹³⁷Csを対象核種とした。

飼料から牛乳へ移行する割合を示すひとつの手段として、移行係数なるものが使用される。飼料とともに1日に摂取する¹³⁷Csに対する牛乳1ℓ中の¹³⁷Csの比として表す。畜試のズートロン施設内で、チェルノブイリ原発事故で汚染した飼料を、6頭の搾乳牛に給与した動物実験で求めた値は 4.3×10^{-3} (d/ℓ)であった。このことは、¹³⁷Csを飼料によって1,000(Bq/d)取り込んだ場合、牛乳に4.3(Bq/ℓ)移行することを意味している。

緒 言

牛乳への¹³⁷Csは、そのほとんどが飼料からの移行といえる。すなわち摂取された飼料中の汚染¹³⁷Csは消化管より吸収され、血液によって運ばれて牛乳に到る。この飼料から牛乳へ移行する割合を示す手段として、移行係数(transfer coefficient)なるものがしばしば使用される。

飼料-牛乳に関しての移行係数は、Fm(fraction of ingested radionuclide that is transferred from feeds to milk)と表記され、単位はday/ℓである。

Fmは本来、環境が¹³⁷Csで汚染された場合、食物連鎖における飼料から牛乳へ移行割合を示し、人間が牛乳を摂取したことによる¹³⁷Csの内部被曝線量を予測するパラメータとしての利用が目的である。いっぽう牛乳生産者の立場からは、その前段の飼料-乳牛-牛乳間における移行量を知るために用いることができる。すなわち、生産される牛乳の安全性を評価し、さらに汚染に対処すべき飼養法の貴重な指針となる。もちろん、その牛乳の汚染濃度を知るためには、直接測定することが最良の手段であるには違いない。しかし、飼料の汚染が急上昇してゆく事態には、分析後では牛乳の事前処置が不可能となり、畜産の立場からは好ましくない。そこで、牛乳の汚染濃度を推測するため飼料から牛乳への移行量に関する法則が求められれば、飼料中の¹³⁷Csを予め知ることにより、飼料給与の段階で牛乳中の¹³⁷Cs汚染を事前にコントロールすることが可能となり、汚染防止対策上有利である。

放射性セシウム、とくに¹³⁷Csの飼料から牛乳への移行に関する実験例は、放射性ヨウ素とともに、既に外国でかなり多く報告されている¹⁻⁴⁾。しかし、それらに示されているFm値は変動がきわめて大きいため、そこから実用的なFm値を決定するのは困難であった。しかし、我国には搾乳牛を用いてFm値を求めた報告は殆どみることができない。そこで、一般飼養管理に近い実験条件によってFm値を算出し、提示しておく必要があった。

実験材料および方法

¹³⁷Csを毎日あるいは繰り返し投与を行い、平衡状態となった牛乳中の¹³⁷Cs濃度を、投与量(飼料中の¹³⁷Cs)で除してFmを求めることができる。すなわち、Fm値は、乳牛が1日に摂取する¹³⁷Csのうち、牛乳1ℓあたりに移行する割合で表さ

平成7年3月1日受付

*現 東北農業試験場

れ、具体的には次式のとおりで以降のFm値はこの式を用いた。

$$Fm(\text{day}/\ell) = \frac{\text{牛乳中}^{137}\text{Cs}(\text{Bq}/\ell)}{\text{飼料中}^{137}\text{Cs}(\text{Bq}/\text{day})}$$

Fm値を求めるには、酪農家で通常飼養されている状態で測定値を得るのが理想的である。著者らは既に、チェルノブイリ原発事故で汚染した乾草を搾乳牛に与えて、牛乳への移行をみる実験を行ったが^{5,6)}、これらの欠陥は、いずれも詳細な飼料摂取量の調査が十分でなかったこと、正確に飼料条件を揃えることが困難であった点があげられる。そこで、今回は精密な飼養条件のコントロールが可能な畜試のズートロン施設（動物用人工

気象室）を用いて給与実験を1988年6月に行った。この施設では搾乳牛を8頭繋養でき、温度、湿度、風、照明などがコンピュータ制御され⁷⁾、さらに自動給飼、1頭ごとの飼料摂取量、飲水量などが精密に管理される。これによって土をなめたり、他の飼料をつまみ食いなどによる誤差を避けることができた。

供試牛は表1に示す6頭を3頭ずつA群、B群に分け、飼料は原発事故直後に刈り取り調製した汚染濃度の高い乾草をH飼料（1986年熊本産乾草）、その1年後に刈り取り調製した汚染濃度の低いものをL飼料（1987年茨城産ヘイウエハー）とした。これをA群にH飼料(A-I)、B群にL飼料(B-I)を給与し、2週後A群にL飼料

Table 1 Date of birth and body weight of the cows, the amount of milk yield, and the composition of the feed provided

Group-No. Cow No.	Birth	Body weight (kg)	Milk yield (kg/day)
A-1 261	1983. 11. 8	735	19.4
A-2 289	1972. 03. 1	525	16.5
A-3 265	1983. 11. 2	685	13.6
B-1 239	1982. 11. 1	544	17.5
B-2 243	1982. 11. 2	728	16.8
B-3 288	1985. 02. 1	645	15.1

Composition of the feed provided (% of D.M.)

	Roughage		Concentrate
	H feed*	L feed**	Pellet 3P***
TDN	56.0	60.0	82.0
Crude protein	6.6	7.9	13.5
Crude fat	1.9	2.6	3.5
Crude fiber	33.3	28.9	5.6
ADF	36.0	35.1	8.3
NDF	59.2	57.1	17.9
Crude ash	9.9	9.6	7.0
Moistuer	8.8	9.1	13.8

* H feed: Hay harvested (1986) and prepared in Kumamoto

** L feed: Hay harvested (1987) and prepared in Ibaraki

*** Pellet 3P: Common feed of A and B group

(A-II), B群にH飼料(B-II)を給与した。さらに2週間後A群にH飼料(A-III), B群にL飼料(B-III)を給与するスイッチバック法による試験を行った。

ズートロン施設内の大型動物飼養室の環境条件は、温度=22℃、湿度=60%、照明=500LX(6:00~19:00), 30LX(19:00~6:00), 飲水温度=18℃となるように設定した。

牛乳の試料採取および放射能測定については、各群(3頭)の牛乳を1つにまとめて2ℓ採取し、所定の方法で灰化して、測定に供した。¹³⁷Cs測定はγ線計測法⁸⁾により、測定時間は10時間とした。

実験成績

Fm値を求めるためには、飼料、牛乳中の¹³⁷Cs汚染濃度が平衡状態にあることが必要である。これを確かめるため、試験飼料を切り替えた後の牛乳中¹³⁷Csの経時変化を観察した。図1がL飼料からH飼料に切り替えた場合で、牛乳中の¹³⁷Csは一定速度で上昇し、6日目にそれが鈍り、以後プラトーとなり飼料中の¹³⁷Csと平衡に達することが示唆された。図2がH飼料からL飼料に切り替えた場合で、牛乳中の¹³⁷Csは速やかに減少し、その半減期は4.9日であった。

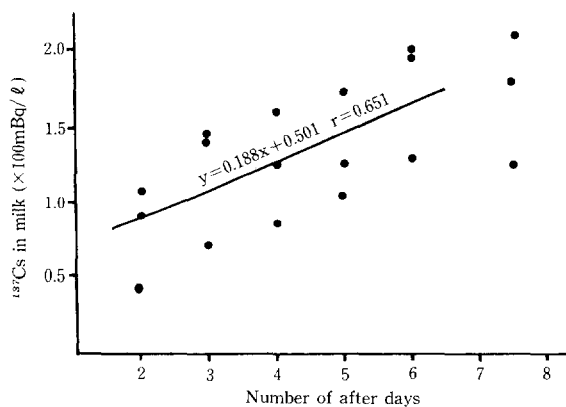


Fig. 1 Change in the level of ¹³⁷Cs in the milk after switching to highly contaminated feed. After switching from L to H feed, the level of ¹³⁷Cs increased at a constant rate and in about six day's time reached equilibrium with that for H feed.

図1の結果から平衡に達するまでの日数を6日と推定した。

Fm値の算出には、主に牧草中の¹³⁷Csに注目するが、他に濃厚飼料、飲水などからの移行も無視できないことがある。これらも、Fm値算出への影響を調べるために個別に¹³⁷Cs濃度を測定した。

給与したH飼料の乾草の¹³⁷Cs濃度は 5.2 ± 0.8 Bq/kg, L飼料のヘイウエハーは 0.9 ± 0.3 Bq/kgであった。またA群, B群共通の濃厚飼料は $0.21 \text{ Bq} \pm 0.11/\text{kg}$, 飲料水は 0.09 ± 0.07 Bq/kgであった。平均摂取量はH飼料給与時に濃厚飼料、飲水も含めて約50Bq(日・頭), L飼料給与時には約15Bq(日・頭)であった。

この実験ではFm値を求めるために、A群, B群合わせて6回(期)実験を繰り返したことになる、6回の実験区それぞれにFm値を求めることが可能である。しかし測定誤差を小さくし、精度を上げる観点から飼料中の¹³⁷Cs濃度の高い状態、すなわちL飼料→H飼料への切り替え実験区(A-I, B-II, A-III)からFm値を求めることとした。結果は図3に示したとおりで、それぞれFm値として 3.23×10^{-3} (A-I), 5.83×10^{-3} (B-II), 3.81×10^{-3} (A-III)が算出された。図中では、これらを平均して、 $4.3 \times 10^{-3}(\text{d}/\ell)$ として

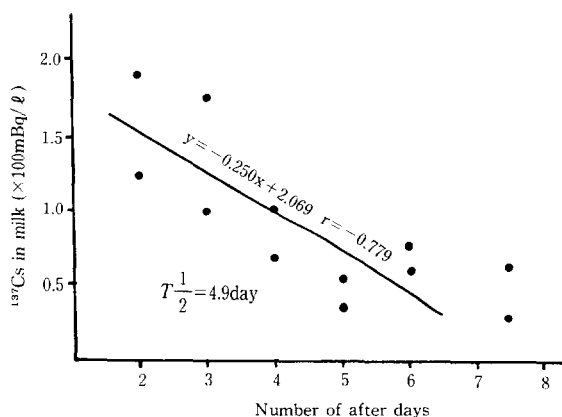


Fig. 2 Change in the level of ¹³⁷Cs in the milk after switching to less-contaminated feed. After switching from H to L feed, the level of ¹³⁷Cs in the milk rapidly decreased. Its half life was 4.9 days.

示したが、これは他の報告例^{1,9)}に比べ、かなり低い結果であった。しかし、著者の行ったもう一つの実験でも、 $4.1 \times 10^{-3} (\text{d}/\ell)$ という極似た値を得ていた結果を次に示す。

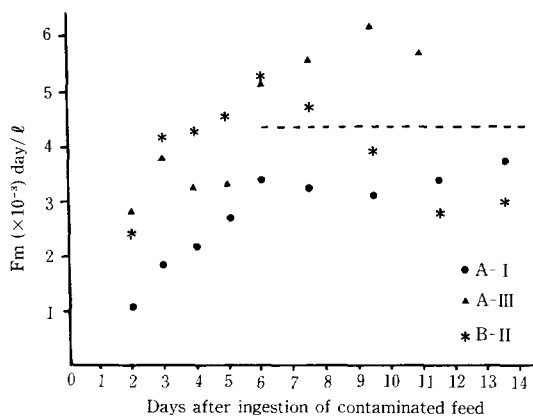


Fig. 3 Change in the level of ^{137}Cs in the milk after switching to highly contaminated feed.

After switching from L to H feed, the Fm value rapidly increased. The value of 4.3×10^{-3} was taken as the true Fm. The true Fm is the average of the values obtained on the sixth day, when the level of ^{137}Cs in the milk appeared to reach equilibrium.

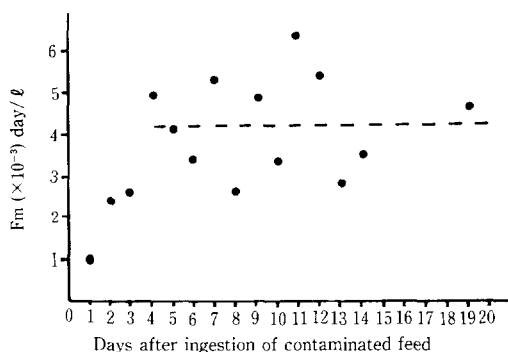


Fig. 4 The Fm values calculated from the results of the field survey immediately after a nuclear reactor accident.

The Fm value obtained in a radioactive survey on 45 cows fed normally immediately after the Chernobyl accident: From the sixth day after ingestion of contaminated feed, the average value was $4.1 \times 10^{-3} (\text{d}/\ell)$.

チェルノブイリ原発事故直後の放射能調査結果から、Fmを算出した結果を図4に示した。これは、畜試で繋養している45頭の搾乳牛の測定データを基にFmを算出したものである。いわゆるフィールド調査であるから、厳密に飼料の給与量、飼料以外からの ^{137}Cs の取り込みなどを把握することはできなかったが、舎飼いのため飼料給与量に限っては比較的正確におさえたと考えてよい。また、動物の供試数が多いことと、飼料中の ^{137}Cs 濃度も高かったことで測定誤差も小さく、信頼度の高いFm値といえる。

考 察

放射性セシウム、とくに ^{137}Cs の飼料から牛乳への移行に関して、かなり多く報告されている¹⁰⁾。しかし、報告されている値の変動が大きいため、このFm値から飼料-牛乳の移行量を知るためのパラメータとして利用するには問題がある。Fm値の主たる変動要因を調べると、牛種による差、発育ステージによる差、さらに泌乳量による差もほとんど関与しないことが報告されている¹¹⁾。

Fmの変動要因として、飼料中のK含量、飼料中の粗繊維含量、濃厚飼料中の ^{137}Cs 濃度およびその給与量であることが確かめられた^{12,13)}。これらの条件がそれぞれに、または競合して移行量に関与し、大きな変動の原因をつくっていることが示唆された。

このように数多くの条件が重なり合うので、正確なFmの決定は安易に行えない。だが、今後の緊急時に対処するため、少なくとも国内の実験データから求めたFmを提示しておく必要に迫られた。その意味から、今回の畜試のズートロン施設を使用し、通常の飼養管理に近い諸条件で求めたFm値、 $4.3 \times 10^{-3} (\text{d}/\ell)$ は貴重である。またこれは、フィールド調査によって求めたFm値 $4.1 \times 10^{-3} (\text{d}/\ell)$ とも良く一致しており、信頼のおけるFmとして評価できる。

謝 辞

稿を終わるにあたり、乳牛の飼養管理で御協力を頂いた動物第1管理室の諸氏に対し、またズートロン使用に関して御支援頂いたメンテナンス職員および関係者各位に深謝いたします。さらに飼

料給与、牛乳採取で援助を賜った古川良平室長(現草地試)、須藤まどか主任研究官および渡辺利男技官に、本研究全般にわたり御助言、御指導を頂いた放医研環境衛生部長内山正史博士、東京農大

教授杉村敬一郎博士に深謝の意を表します。

また、御校閲を頂いた生理部板橋久雄部長(現東京農工大学)、元信州大教授檀原宏博士に感謝いたします。

引用文献

- 1) NG, Y. C. and C. C. COLSHER: Transfer coefficients for the prediction of the dose to man via the forage-cow-milk pathway from radionuclides released to the biosphere, Rep., Univ. California Radiation Laboratory-51939, 73-74, 1977
- 2) WARD G. M., Z. KESZTHELYI, B. KANYAR, U. P. KRALOVANSZKY, J. E. JOHNSON: Transfer of ^{137}Cs to milk and meat in Hungary from Chernobyl fallout with comparisons of worldwide fallout in the 1960s., *Health Phys.*, **57**, 587-592, 1989
- 3) JUZNIC, K. and M. KORUN: Radioactivity of cattle fodder and milk after the Chernobyl accident, *J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **137**, 235-242, 1989
- 4) VOIGT, G., H. MULLER, G. PROHL, H. G. PARETZKE, G. PROPSTMEIER, G. ROHRMOSER and P. HOFMANN: Experimental determination of transfer coefficients of ^{137}Cs and ^{131}I from fodder into milk of cows and sheep after the Chernobyl accident, *Health Phys.*, **57**, 967-973, 1989
- 5) 三橋俊彦・相井孝九・杉村敬一郎・檀原 宏: 原子力施設事故時における放射性核種の移行, 第81回日本畜産学会大会要旨, 173, 1989
- 6) AII, T., S. KUME, S. TAKAHASHI, M. KURIHARA and T. MITSUHASHI: The Effect of the Radionuclides from Chernobyl on Iodine-131 and Cesium-137 Contents in Milk and Pastures in Southwestern Japan, *Jpn. J. Zootech. Sci.*, **61**(1), 47-53, 1990
- 7) R. FURUKAWA, H. SHISHIDO, N. YAMAGISHI, T. UENO and T. MITSUHASHI: Mechanical Structure and Function of Zootron (the Climatic Facility for Domestic Animals) in Tsukuba, Rep., *Tropical Agriculture Research Center, JARQ*, **23**(1), 46-52, 1989
- 8) 三橋俊彦: セシウム-137の分析測定法 γ 線計測法, 国産牛乳のセシウム-137汚染に関する研究, 学位論文, 16-20, 1994
- 9) LENGEMANN, F. W.: Predicting the Cesium-137 intake from milk of a human population after a single, short-term deposition of the radionuclide, *Health Phys.*, **14**, 101-109, 1968
- 10) LENGEMANN, F. W., R. A. WENTWORTH and C. L. COMAR: Physiological and Biochemical Aspects of the Accumulation of Contaminant Radionuclides in Milk, *Lactation*, **3**, 159-215, 1974
- 11) WARD, G. M., J. E. JOHNSON and L. B. SASSER: Transfer coefficients of fallout caesium-137 to milk of dairy cattle fed pasture, green cut alfalfa, or stored feed. *J. Dairy Sci.*, **50**, 1092-1096, 1967
- 12) 小林宏信: 放射性物質の植物による吸収, 第6回放医研環境セミナー報文集, **NIRS-M-31**, 136-154, 1979
- 13) JOHNSON, J. E., G. M. WARD, E. FIRESTONE and K. L. KNOX: Metabolism of radioactive cesium (^{134}Cs and Cs) and potassium by dairy cattle as influenced by high and low forage diets. *J. Nutr.*, **94**, 282-288, 1968

A Study on the Transfer Coefficient of Cesium-137 in Domestic Milk

Toshihiko MITSUHASHI*
(Department of Animal Physiology)

Summary

If radioactivity escape into the environment due to nuclear weapon tests or nuclear reactor accidents, it will eventually affect milk and cause a serious food safety problem.

The purpose of the study on radioactivity in milk is to investigate the level of contamination, to construct a model showing the contamination path and the amount transferred, and to establish a method of decontamination. In this regard, research on the transfer of contamination from feed to milk is of special important.

The author has been studied on the contamination of radionuclide ^{137}Cs , whose half-life is long and thus liable to be transferred into milk. These radionuclides were released in vast quantities in the Chernobyl accident.

The ratio of the transfer of radioactivity from feed to milk, meat and eggs is represented by the coefficient of transfer. The coefficient of transfer from feed to milk is abbreviated as "Fm", in the unit of day/l. This is the ratio of ^{137}Cs in one liter of milk to the quantity of ^{137}Cs ingested per day.

In the present experiment, six dairy cows were housed in "Zootron" (the climatic facility for domestic animals) and given a feed radioactively contaminated in the Chernobyl accident, and the author obtained "Fm" value of 4.3×10^{-3} (d/l). This value means that if 1,000 (Bq/d) of ^{137}Cs are ingested with feed by cow, 4.3 (Bq/l) of ^{137}Cs are transferred to milk.

*Present Address: Tohoku National Agricultural Experiment Station