

放射性物質による環境汚染と獣医師の役割

松 坂 尚 典[†]

Environmental Contamination with Radioactive Substances and the Role of Veterinarians

Naonori MATSUSAKA[†]

はじめに

東日本大震災によって東京電力福島第一原子力発電所が津波の被害を受け、その翌日から数日の間に4基の原子炉で水素爆発等が発生した。その結果、原子炉から大量の放射性物質が環境中に放出され、それら放射性物質による環境汚染は、事故を起こした原子力発電所の周辺市町村のみならず、東北から関東方面にかけての広い範囲に及んでいることが確認されている。(原子力安全委員会：http://www.nsc.go.jp/mext_speedi/index.html) この原子炉事故によって放出された放射性物質の総量については、いくつかのデータが示されてきた。放射性ヨウ素と放射性セシウムを合わせて、3月11日～16日までに放出された量は193PBq (193×10^{15} Bq)に達したと推測されており、そのうちの約50%が海面に沈着したと報告されている [1]。報道によると、福島県の畜産農家の中には、乳牛や肉牛を安全な場所に移動させることもできないまま、急ぎ退避せざるを得なかった人たちがいた。また、セシウム137 (Cs-137) による牛肉の汚染レベルが、原子力安全委員会の定めた指標値(表1：<http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/sisetubo/sisetubo015/siryo2-5.pdf#page=31>)を超えたということで、福島、宮城、栃木、岩手の4県に対して、政府は全頭の出荷停止命令を出したが、8月中旬から下旬にかけて肉牛の出荷停止は解除された(厚生労働省：<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000001ddg2.html>)。しかし、出荷停止命令が出されてから解除されるまでの間、畜産農家が被った損失はきわめて大きかったことは否めない。

獣医師は、獣医師法の第1条において、「畜産業の発達を図り、あわせて公衆衛生の向上に寄与する」ことが

表1 飲食物摂取制限に関する指標

核 種	飲食物	指標値* (Bq/kg)
I-131	飲料水	300
	牛乳・乳製品	300
	野菜類	2,000
Cs-137	飲料水	200
	牛乳・乳製品	200
	野菜類	500
	穀 類	500
	肉・卵・魚・その他	500

放射性ヨウ素：100Bq/kgを超える牛乳は乳児用調製粉乳及び直接飲用に供する乳に使用しないよう指導すること。

*厚生労働省医薬食品局 (2011年11月現在。今後、数値の変更も有りえる。)

求められている。このたびの放射性物質による乳及び肉の汚染問題に関しても、それらが「安全であるか否か」の判断は、本来ならば獣医師がなすべきことで、獣医師に課せられた重要な任務の一つであろう。大学で獣医放射線学あるいは放射線生物学などが教授されたと思われるが、さらに必要であれば、放射線あるいは放射能に関する書籍が多数出版されているので、それらを参照願いたい [2-8]。筆者は、1964～1969年まで放射線医学総合研究所環境衛生研究部に研究員として勤務し、核分裂物質の代謝について研究した。その後、岩手大学獣医学科に赴任してからも放射性物質による環境汚染問題に関心を抱き、同様の研究を続けた。その経験を踏まえ、獣医師の方々が放射性物質による畜産物の汚染問題に対応するときの一助にでもなればという思いから、この総説を書くに至った。

[†] 連絡責任者：松坂尚典

〒020-0103 盛岡市西松園1-2-16 ☎・FAX 019-663-0540 E-mail: nmatsusaka216@ybb.ne.jp

[†] Correspondence to: Naonori MATSUSAKA

1-2-16 Nishimatsuzono, Morioka, 020-0103, Japan

TEL・FAX 019-663-0540 E-mail: nmatsusaka216@ybb.ne.jp

1 チェルノブイリ原子力発電所事故の教訓

今から25年ほど前の1986年4月26日未明（日本時間）に、現在のウクライナ共和国キエフ市の北、約110kmのところにあるチェルノブイリ原子力発電所で原子炉が爆発し、炎上するという事故が発生した[9-10]。国際原子力機関（IAEA）の推計によると、放出された放射性物質の総量は、希ガス（クリプトン85、キセノン133）の寄与を除いて5EBq（ 5×10^{18} Bq）に達したという[11]。その放射性物質によって、ヨーロッパ諸国のみならず日本の農畜産業も多大な被害を受けた[12]。

チェルノブイリは日本から8,000kmも離れていたが、事故から9日後には岩手県内で採取された塵埃中にヨウ素131（I-131）とCs-137が検出された。その後、同じ試料をゲルマニウム半導体検出器によって解析したところ、その他の核種（テルル132、ルテニウム106、ヨウ素132など）も確認されている。今回の原子炉爆発事故でも、チェルノブイリ原発事故で放出されたものと同様の放射性核種が環境中に飛散したと考えられる。このような原子炉事故がふたたび起きないことを願いながら、筆者[13]は日獣会誌に放射線関連の基礎的な事項をまとめ、総説として寄稿した。また、岩手県獣医師会会報には、チェルノブイリ原子炉事故後、盛岡市に飛来した放射性物質について報告した。それと同時に、放射線量を計測するための簡易な測定器などは整備しておくように推奨した。

チェルノブイリ原発事故の後、われわれ獣医学を学ぶ者も放射線あるいは放射性物質についての知識を共有しておくことが必要であろうという観点から、第107回日本獣医学会（1989年）の公衆衛生学分会で「放射能汚染と食品衛生」というタイトルのシンポジウムを開催した。テーマは、(1)食品の放射能汚染と人体影響、(2)日本における輸入食品の放射能汚染と暫定限度、(3)畜産物の放射能汚染、(4)ヨーロッパ諸国における食品の放射能汚染の4つである。これらの内容は、わが国で今日起きている環境汚染問題にも関連しているので、何らかの参考になるであろう。また、チェルノブイリ原発事故から9カ月ほど経って、ヨーロッパでは世界獣医食品衛生協会（World Association of Veterinary Food Hygienists：WAVFH）が「原子炉事故による動物性食品の放射能汚染」と題する国際円卓会議を開催した。その報告書は2巻になって出版されているが、同協会長Grossklaus教授（ドイツ）の許可を得て第1巻を日本語に訳し、後日この訳文が放射線科学という雑誌に掲載されることとなった[14, 15]。獣医師の方々の目に留まることはなかったであろうが、放射性物質による環境汚染に対して、緊急時のコントロール・システム、事故直後の対応、中期的・長期的対応などについてまとめて

あり、参考になることが多い。これらの事項は、今回の原発事故が起きる前に周知しておくべきことであって、そのような観点からすると本総説は時宜を失っている嫌がある。ただ、今日の事態は公衆衛生の見地からも深刻な問題であるので、放射能及び放射線、放射性物質の体内動態などの基礎的事項について簡単に述べ、あわせてWAVFH報告書の一端を紹介し、今後の参考に供したい。

2 放射線関連の単位について

放射性物質による環境汚染問題について述べる前に、放射線に関連する単位のうちから頻繁に使用されている2つを取りあげ、簡単に説明しておきたい。

(1) ベクレル (Bq)

ベクレル (Bq) は放射能を表す単位で、放射性核種が1秒間あたりに崩壊（壊変）する数を示している。

すなわち、

$$1\text{Bq} = 1\text{dps}[(\text{崩壊数})/\text{s}(\text{秒})]$$

と書き表すことができる。

(2) シーベルト (Sv)

シーベルト (Sv) は、放射線が人体に及ぼす影響を評価するために設けられた単位であって、人の被曝線量を問題にするときに限って使用される。それは線量当量と呼ばれている。

α 線、 β 線と γ 線、中性子線は、それぞれの吸収線量が同じであっても、生体に及ぼす影響は異なる。それゆえ、線質の異なる放射線が人体に及ぼす障害の程度を比較するためには、吸収線量（グレイの単位で表示：Gy）に線質係数（Quality Factor：QF）を乗じた線量当量を用いることになる。X線、 γ 線、 β 線の線質係数（放射線加重係数）は1、陽子線は5、 α 線は20、中性子線にはエネルギーの違いにより5～20を与えている[16]。

(3) ベクレルをシーベルトに換算

ベクレルをシーベルトに換算する場合には、核種ごとに定められている実効線量換算係数を用いる。すなわち、ベクレルで表示されている数値に実効線量換算係数を乗じることでシーベルトに換算できるとされている。このことにより、放射性核種を摂取した人が70歳になるまでに受ける実効線量が求められるのであるが、この計算の根拠は、やや複雑であるので、詳しくは日本放射線影響学会震災対策検討ワーキンググループ (<http://wwwsoc.nii.ac.jp/jrr/gimon/gakail.pdf>) のホームページを参照されたい。参考までに、厚生労働省が各都道府県知事などに通知した「飲食物摂取制限に関する指標」（表1）と、I-131及びCs-137の実効線量換算係数を示しておく（表2）。

表2 実効線量換算係数 (mSv/Bq)

放射核種	乳児	成人
I-131	0.00014	0.000016
Cs-137	0.000021	0.000013

(ICRP Publication 72, Table A1より抜粋)

3 主要な放射性核種の体内動態について

ここでは、環境汚染に関わる主要な放射性核種としてストロンチウム90 (Sr-90)、I-131及びCs-137の3つを取りあげ、それらの体内動態の概要を記述する。これら3核種は、チェルノブイリ原発事故の際にも、主要な汚染核種として取り扱われたものである。

(1) Sr-90

周期表では、ストロンチウム (Sr) 及びカルシウム (Ca) は2族に属しており、生体内で両物質は似た動きをする。Sr-90は経口的に摂取されると、その約30%が消化管から吸収されると考えられており、体内では主として骨組織に取り込まれ、そこに長く留まる。Sr-90の物理的半減期は28.7年と長く、それが崩壊するときに娘核種のイットリウム90 (Y-90) を生成する。Sr-90は0.55 MeVの β 線を出し、Y-90は2.28 MeVの強い β 線を放出するので、それらの β 線が生体に影響を及ぼすことになる。乳牛にSr-90が摂取されるようなことが起きると、当然のことながら乳中にSr-90が出現する可能性がある。妊娠動物を用いた実験によると、妊娠母体にSr-90が取り込まれた場合には、その一部分が胎盤を通じて胎仔に移行することが観察されている [17, 18]。人あるいは家畜でも同じようなことが起きる可能性がある。環境中のSr-90については、今後なお注意深く見守っていく必要がある。

(2) I-131

I-131は、人に摂取されると甲状腺に集まることがよく知られている。I-131が経口的に摂取されると消化管からはほぼ完全に吸収され、そのうちの約5~20%が甲状腺に取り込まれると報告されている [6, 19]。人で経口投与されたI-131の体内残留率を求め、それらの測定値を片対数グラフ上にプロットすると、投与後7日にかけて速やかに、かつ直線的に減少する相 (生物学的半減期15時間) と、その後、緩やかに減少する相 (生物学的半減期30日) の2相になることが観察されている [19]

乳牛では、I-131で汚染されている飼料あるいは飲水が給与されると、その一部は牛乳に移行する。また、I-131で汚染されている空気を吸入した場合には、I-131が肺から吸収されて乳中に移行することが観察されている。今回の原発事故の場合も同様のことが確認され、I-131に汚染された牛乳が廃棄されるという事態を

招いた。ただし、I-131の物理的半減期は8日と短いので、飼料などが汚染された場合には、約3カ月もそのままにしておくで放射能は1,000分の1以下にまで減少する。このことを知っておくと、I-131による汚染を低減させることに役立つであろう。

(3) Cs-137

Csは、カリウム (K) と同じく周期表1族に属しており、Kと化学的性質が似ているために、生体内ではKと類似の動態を示す。Cs-134とCs-137の間には、体内における動きに差はないので、以下Cs-137について述べる。

Cs-137は経口的に摂取されると、ほぼ完全に消化管から吸収され、体内では主として軟組織に取り込まれる。体内に吸収された後は代謝されて、尿中あるいは糞便中に排出される。それに伴って、次第に体内量が減少する。日本人の成人男子における生物学的半減期は平均85日 (50~160日) と見積もられているが、成人男子に比べて幼児や乳児での半減期は短い [6]。実験動物でも、日齢によってCs-137の体内残留率が異なり、幼若な動物ほど生物学的半減期が短くなることが観察されている [20]。さらに妊娠動物では、Cs-137が胎盤を通じて胎仔に移行し、分娩後は母乳を介して哺乳仔に取り込まれることも実験的に確かめられている [21]。

4 放射線の測定

次に、いかにして放射線を測定したらよいかということについて触れてみたい。乳及び肉、その他の食品に含まれる放射性物質のうち、特に γ 線を放出する放射性核種の量を精密に測定するためには、ゲルマニウム半導体検出器、あるいはシンチレーション検出器などが必要になる。これらの装置は価格の点から個人で所有することは難しいが、最近では小型の機種が開発され、入手可能となっているので検討に値するであろう。

放射線測定用のサーベイメータあるいは簡易型の個人線量計などを用いて、おおよその環境放射線量、あるいは被曝線量を知ることは可能であるが、精密な測定には不向きである。正確な測定値を得るためには、各都道府県の環境保健センター (名称は都道府県で異なっている) などに設置されている放射線測定器、あるいは信頼できる民間測定機関などが所有している放射線測定器で計測してもらう必要がある。

簡易型の個人線量計に比べると高価にはなるが、1インチ径のヨウ化ナトリウム単結晶付きシンチレーション・サーベイメータが販売されている。獣医師は直腸検査という手技を身につけているので、このシンチレーション・サーベイメータを活用することも、牛体の放射線量を知る上で役立つかもしれない。放射線量を計測する場合、測定値には必ず計数誤差を伴っていることに注意

すべきである [16]。測定時間の設定、あるいは測定値の計数誤差に関しては、他の専門書を参照願いたい。

5 移行係数の活用

飼料が放射性核種で汚染された場合に、乳及び肉の汚染を容易に推定する目的で、種々の元素について飼料から乳及び肉への移行係数が求められている [22]。この移行係数を用いて、放射性核種による乳や肉の汚染レベルを予測することができる。移行係数のディメンションが day/kg となっているが、誤記ではないので敢えて記しておく。

移行係数 (day/kg)

$$= \text{乳・肉の放射性核種濃度 (Bq/kg)} \\ / \text{動物が1日あたりに摂取する放射性核種の量} \\ \text{(Bq/day)}$$

すなわち、動物が1日あたりに摂取する放射性核種の量 (Bq/day) と移行係数 (day/kg) を乗じると、乳あるいは肉の放射性核種濃度 (Bq/kg) が算出される。このような計算によって、目的の放射性核種による乳及び肉の汚染レベルが推定できることになる。

たとえば、1日に給餌される飼料から 50,000Bq の Cs-137 が牛に摂取されたと仮定すると、

$$50,000\text{Bq/day} \times 0.02\text{day/kg} = 1,000\text{Bq/kg}$$

となる。すなわち、肉 1kg 当たり、おおよそ 1,000Bq になることを意味している。この数値は政府が通知した指標値 500Bq/kg を超えており、食用不適として処理されることになる。このように汚染レベルを大まかに推定できるので、移行係数は有効である。ただし、このような計算ができるためには、獣医師に放射線測定器が手渡されており、汚染レベルを確認して、精密な放射線量を計測できる体制が整えられている必要がある (表3)。

6 放射性物質により汚染されたものの取り扱い

牛乳、肉、家畜と体、牧草、稲藁、糞尿、堆肥、農地 (表層土) などが指標値あるいは国が定めた暫定基準値を超えて汚染された場合には、いかに処理したらよいか、国からは飼料、肥料について一応の指針が

表3 主要な放射性核種の乳及び肉に対する移行係数

放射性核種	移行係数 (day/kg)	
	乳	肉
I-131	0.01	0.01
Cs-137	0.008	0.02
Sr-90	0.001	0.0006

(IAEA Safety Series No. 57, Table 19 及び Table 21 より抜粋) [22]

示されたが (<http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/syouhi/110802.html-17k-2011-08-31>)、指標値を超えた場合にどのように処理して、どこに廃棄すればよいのかという問題がある。8,000Bq/kg 以下の汚染汚泥乾燥物については、土中に埋めるという方針が示された (政府の原子力災害対策本部)。また、がれき、浄水・下水汚泥、焼却灰、草木、汚染土壌についての処理・処分等については、原子力安全委員会が安全性確保のための当面の考え方を示している (<http://www.nsc.go.jp/anzen/shidai/genan2011/genan039/siryo2.pdf>)。放射性汚染物の処理や処分の進め方については、今後とも注意深く見守っていく必要がある。

7 世界獣医食品衛生協会 (WAVFH) の報告書から

WAVFH が開催した会議の目的は、原発事故という緊急事態に対して、食品衛生に携わっている獣医師が的確に、かつ効果的に対応できるように、手助けをすることである。この報告書でも述べられているように、放射性物質による汚染事故は二度と起こらないことを願うが、事故が起きる可能性を排除することはできない。したがって、そのような事故が将来起きたときに、獣医師が効果的な役割を果たすためにも、この会議が貢献し得るであろうと述べている。

報告書第1巻の内容は、(I) 緒言、(II) 放射能放出事故の特徴、(III) 植物の放射能汚染を低減させるための初期活動、(IV) 損害発生の予測、(V) 緊急時のコントロール・システム、(VI) 放射能汚染に対する獣医師の対応、(VII) 要約となっている。紙面の関係で、(VI) の「放射能汚染に対する獣医師の対応」について紹介したい。

今回の原発事故によって、環境及び食品などが放射性物質で汚染されたが、そのような汚染を防ぐ上でも参考になることが多い。実際に現場で苦勞されている獣医師の方々に、少しでも参考になることがあれば幸いである。その報告書では、(1) 事故直後の時期、(2) 中期的対応、(3) 長期的対応についてまとめられていることは、先にも触れた。以下、それぞれの事項について、報告書に書かれていることの要点を記載する。

(1) 事故直後の対応

事故直後に獣医師が取るべき行動は、でき得るなら乳牛を待避所に入れて保存飼料を与えることが勧められる。牛乳が放射性物質で著しく汚染されたり、あるいはセシウム 137 のような長寿命核種で汚染された場合には、消費者が危険に曝されないようにするためにも、牛乳を廃棄すべきか否かの決定を速やかにすることが重要である。酪農家、肥育牛農家を含めて、牛体を放射性物質の汚染から守るために、動物を舎内で飼育するか、あるいは汚染レベルの低い飼料を給与するように努める。また、ベントナイト、その他の放射性物質吸着剤を飼料

に添加することができれば、それらによって乳や肉の汚染を低減させることができるであろう。牛乳の汚染監視も重要である。放射線計測器を十分に配置し、かつ獣医師が計測器の運用に習熟していないと十分な監視ができない。牛乳の汚染監視は、中央の機関が地方の状況を把握するのに役立つであろう。

(2) 中期的対応

この段階では、放射性セシウムあるいは放射性ストロンチウムが牛の体内に吸収されることによって、筋肉、内臓、骨の汚染が問題となる。と畜場では決められた方法で試料を採取し、検定済みの放射線計測器によって、枝肉各部位の汚染レベルを測定する必要がある。

枝肉あるいは動物体の汚染レベルが高い場合にはと殺を中止して、動物に除染用の飼料を与える。羊、山羊、豚、その他の肉用動物についても、同じようにして飼養する。家禽が舎外で飼育されている場合には、放射性物質による汚染の有無を測定すべきである。ハチミツも種々の放射性物質によって汚染される可能性があるので、放射線測定をするように考慮すべきである。

(3) 長期的対応

食用動物の放射線測定を継続し、問題となる地域を見分けていく。中央機関にデータを提供することも重要である。獣医学の学部時あるいは卒業後、放射線生物学の教育訓練を行い、獣医師に対しては放射性物質による汚染を回避するためのトレーニングを重点的に行うことが必要である。さらに、政策決定に際しては、物理学者、医師、社会学者、その他の研究者と学際的な研究プロジェクトを組んで協力するようにすべきである。

動物性食品の輸出に関しては、自国の公認機関が発行した証明書をつけ、輸入国に対して食品が安全であることを保証できるようにすべきである。また放射線の測定に際しては、試料の採取方法を標準化しておき、放射線測定方法、及び証明書についても統一することが要求される。

おわりに

今回の原発事故によって大量の放射性物質が大気中あるいは海水中に放出され、人々が住んでいる環境を汚染した。土地、家屋、農地、山林、河川、あるいは農畜産物、さらには住民自身や飼育している家畜が、放射性物質に汚染されるといふ被害を被った。この事故に際して、どれほどの数の放射線測定器（サーベイメータなど）が獣医師に手渡されたのであろうか。先にも触れたように、放射線測定器なしには、放射性物質による汚染の防止対策を進めることは不可能である。第一線で活躍されている獣医師は、まことに歯がゆい思いをされたことであろうし、また現にされていると言ったほうが適切かもしれない。この拙文が、放射性物質による汚染の実

情を知るためにも、また獣医師として放射線防護に寄与するためにも、何らかの役に立つことがあれば幸いである。

本稿をまとめるのに際し、適切な助言をいただいた岐阜大学応用生物科学部獣医学課程の石黒直隆教授に深謝する。また、文献については、(財)放射線影響協会国際情報室部長 西村義一博士の助力を得た。ここに記して謝意を表する。

引用文献

- [1] 中野政尚：長期的な海洋環境影響は？ 福島第一原子力発電所からの放出放射能の長期的海洋拡散シミュレーションと海産物摂取による内部被ばく評価，日本原子力学会誌，53，559-563 (2011)
- [2] 佐藤満彦：“放射能”は怖いのか，文春新書177，全238，文藝春秋，東京 (2001)
- [3] 斎藤勝裕：知っておきたい放射能の基礎知識（サイエンス・アイ新書），全221，ソフトバンククリエイティブ，東京 (2011)
- [4] 安齋育郎：放射能 そこが知りたい，改訂版，全63，かもがわ出版，京都 (2011)
- [5] 館野之男：放射線と人間，岩波新書 G139，全198，岩波，東京 (1999)
- [6] 今井靖子，村松康行，西村義一，明石真言：放射能と人体，渡利一夫，稲葉次郎編，全124，研成社，東京 (2000)
- [7] 市川龍資：暮らしの放射線学，全135，電力新報社，東京 (1985)
- [8] 松岡 理：獣医放射線学概論，全160，文永堂，東京 (1989)
- [9] 赤木昭夫：チェルノブイリの放射能（岩波ブックレット No. 74），2-10，岩波，東京 (1986)
- [10] 安藤正樹，平野雅司：II. 事故シナリオ再検討，日本原子力学会誌，44，161-172 (2002)
- [11] 杉浦紳之：VI. 事故後の環境影響，日本原子力学会誌，44，193-194 (2002)
- [12] 小泉好延：日本における放射能汚染，経セミ増刊 チェルノブイリ原発事故，110-119，日本評論社，東京 (1986)
- [13] 松坂尚典：環境放射線と放射能汚染問題，日獣会誌，51，1-5 (1998)
- [14] WAVFH：原子炉事故による動物性食品の放射能汚染（上），松坂尚典訳，放射線科学44，77-81 (2001)
- [15] WAVFH：原子炉事故による動物性食品の放射能汚染（下），松坂尚典訳，放射線科学44，117-124 (2001)
- [16] 日本アイソトープ協会：アイソトープ手帳10版，全167，丸善，東京 (2001)
- [17] Wasserman RH, Comar CL, Lengemann FW : Placental transfer of calcium and strontium in the rat and rabbit, Amer J Physiol, 189, 91-97 (1957)
- [18] 松坂尚典，池田三義，大久保義夫：胎盤および母乳を介する⁸⁹Srの移送についてI，日獣誌，28，315-320 (1966)
- [19] Tanaka S, Mochizuki Y, Yabumoto E, Inuma TA, Kumatori T, Yamane T, Akiyama T, Matsusaka N : Protection of thyroid gland and total body from radiation delivered by radioactive iodine, Diagnosis and

- Treatment of Deposited Radionuclides, 298-314, Excerpta Medica Foundation, Dordrecht (1967)
- [20] Matsusaka N, Inaba J, Tsai CC : Whole-body retention of ^{137}Cs in the young and adult mice, Radioisotopes, 16, 25-28 (1967)
- [21] Matsusaka N, Inaba J, Ichikawa R : Transfer of ^{137}Cs through placenta and milk in mice, Radioisotopes, 17, 584-587(1968)
- [22] IAEA : Generic models and parameters for assessing the environmental transfer of radionuclides from routine releases, Safety Series No.57, 全96 (1982)
-