東京電力福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の飛散を受けて実施した放牧試験牛の乳中放射能緊急調査報告

誌名	日本畜産學會報 = The Japanese journal of zootechnical science
ISSN	1346907X
著者名	小林,美穂 鈴木,一好 宮本,進 西村,宏一 小松,正憲 栂村,恭子 的場,和弘 木方,展治
発行元	Zootechnical Science Society of Japan
巻/号	83巻1号
掲載ページ	p. 57-64
発行年月	2012年2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

〈技術報告〉

東京電力福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の飛散を受けて実施した放牧試験牛の乳中放射能緊急調査報告

小林美穂[1]・鈴木一好[1]・宮本　進[1]・西村宏一[1]・
小松正憲[1]・栂村恭子[2]・的場和弘[2]・木方展治[3]

[1] 畜産草地研究所，つくば市 305-0901
[2] 畜産草地研究所，那須塩原市 329-2793
[3] 農業環境技術研究所，つくば市 305-8604

（2011. 11. 2 受付，2011. 12. 19受理）

要　約　2011年3月，東京電力福島第一原子力発電所放射能漏れ事故が発生した．畜産草地研究所那須研究拠点では冬季放牧試験を実施しており，放牧試験終了後からの試験牛の乳（放牧試験乳）と舎飼い飼養牛の乳（舎飼乳）の放射性核種濃度を各々経時的に追跡した．放牧試験牛6頭は原発事故以前から4月3日まで6時間の時間制限放牧および併給飼料給与にて飼育されていた．放牧最終日における放牧試験乳の放射性核種濃度を測定したところ，ヨウ素131は1,178.9 ± 2.6 Bq/L，放射性セシウム（セシウム134＋セシウム137）は1,154.9 ± 1.56 Bq/L検出された．一方4月中旬の舎飼乳の測定では，放射性ヨウ素および放射性セシウムは各々3.22 ± 0.04 Bq/kgおよび2.46 ± 0.03 Bq/kgの汚染に止まっていた．放牧試験牛を4月4日から畜舎内に移動させ舎飼牛と同じTMRを給与すると，放射性ヨウ素は3日後に，放射性セシウムは7日後に暫定許容値（各々300および200 Bq/L）を下回った．

日本畜産学会報 *83 (1), 57-64, 2012*

原子力発電所事故などによって環境中に放射能漏れが起きた時には速やかに農作物や牛乳中の放射性物質をモニタリングする必要がある．特に放射性ヨウ素および放射性セシウムは沸点が低く，広範囲に拡散する恐れがある他，前者は甲状腺に集まる特徴があるため，甲状腺被ばくによる甲状腺機能障害を引き起こすことがある．また，後者は体内の特定部位に集まる性質はないものの，半減期が長く長期的な汚染を引き起こすおそれがあることから最も重要な監視対象である．畜産草地研究所（畜草研）は1960年代から継続して，研究課題「牛乳中の放射性核種に関する調査研究」を実施し，牛乳中放射性核種の濃度を監視してきた（文部科学省 1960～2010）．また核実験や原子炉・核燃料施設からの放射能漏れ事故などの際には農林水産省の要請を受け，直ちに牛乳放射能の緊急時調査を実施することとなっている．

2011年3月，東京電力福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の飛散（以下，福島第一原発事故）が発生した．畜草研那須研究拠点（那須拠点）では冬季放牧試験を実施しており，原発事故以前から4月3日まで搾乳牛（放牧試験牛）を放牧草地で1日6時間の時間制限放牧と18時間舎内に収容して併給飼料にて飼育していた．また，別に舎飼い飼養の牛群もあったため，これら牛群を用いて乳中の放射性核種濃度のモニタリングを実施することができた．そこで本稿では，飼養形態の異なるウシについて，生産乳に含まれる放射性ヨウ素および放射性セシウム濃度と清浄飼料給与切り替えが生産乳に与える影響について報告する．

材料および方法

1.　原乳の採取および測定

那須拠点で3月11日以前から放牧飼育されていた搾乳牛6頭分の原乳を朝夕搾乳分混合し，コンテナ（ロンテナ6；積水成型工業株式会社，大阪）に約6L採取した．防腐剤としてホルムアルデヒドを1%となるように添加し試料乳とした．放牧試験乳は放牧試験最終日の平成23年4月3日より6月22日まで約10日間隔で6回採乳し，舎飼乳はその間3回採取し，測定に供した．試料乳2Lを規定の測定容器に入れ，高純度ゲルマニウム半導体を検出器（GEM-50195P-SおよびGEM-50PPP0P-T0P；ORTEC, Oak Ridge, Tennessee, USA）としたガンマ線核種分析装置にて放射性核種濃度を測定した．測定時間は各々以下の通りである．

連絡者：小林美穂（fax：029-838-8606，e-mail：mihokoba@affrc.go.jp）

放牧試験乳：4月3日採乳分（16,923秒），4月13日採乳分（10,432秒），4月21日採乳分（94,123秒），5月11日採乳分（52,130秒），5月25日採乳分（23,101秒），6月22日採乳分（18,246秒）．
舎飼乳：4月13日採乳分（122,363秒），5月25日採乳分（66,358秒），6月28日採乳分（102,460秒）．

2. 牧草の採取および測定

イタリアンライグラスを播種して造成した放牧地および放牧草地に隣接するライムギ採草地から，地上10cmの高さで刈り取った生牧草を約5cmに切断し，測定試料とした．イタリアンライグラスは4月3日に，ライムギは4月14日にそれぞれ採取した．試料を測定容器の2L標準線まで詰め，高純度ゲルマニウム半導体検出器にて放射性核種濃度を測定した．測定は1,210秒間（イタリアンライグラス）および53,637秒間（ライムギ）実施した．

3. 併給飼料の測定

放牧試験牛には放牧草以外に一日あたり現物重で，コーンサイレージ10.5 kg，グラスサイレージ4.38 kg，ルーサン乾草1.62 kg，配合飼料9.45 kg，ビートパルプ2.52 kg，大豆粕0.63 kg，ミネラル・ビタミンMIX 0.125 kgの構成からなる併給飼料が給与されていた．併給飼料原料は4月3日に採取し，給与割合の通りに大型ビニール袋に入れて十分混合し，牧草と同様に測定容器に詰め放射性核種濃度を測定した．測定は58,618秒間実施した．

4. 舎飼牛給与飼料（TMR）の測定

舎飼牛には一日あたり現物重で，コーンサイレージ31.99 kg，配合飼料11.19 kg，ビートパルプ0.92 kg，大豆粕2.31 kg，ミネラルMIX 0.26 kgの構成からなるTMRが給与されていた．また，舎飼に移行した後の放牧試験牛にも，舎飼牛と同じTMRが給与されていた．TMRの飼料原料はすべて原発事故前に調製し，屋内に保存していたものである．TMR原料は5月23日に採取し，測定容器に詰める前にTMRは大型ビニール袋内で十分混合し，牧草と同様に容器に詰めて放射性核種濃度を測定した．測定は60,875秒実施した．

5. 移行係数（Fm）の算定

セシウム137の移行係数Fmは，「環境パラメーターシリーズ5　飼料から畜産物への放射性核種の移行係数」の野外観察による求め方に従い，次の式1）によって算定した（佐伯ら1995）．

式1：[Fm(day/L) ＝ 牛乳中のセシウム137 (Bq/L)/飼料中セシウム137の取り込み量 (Bq/day)

6. 簡易血液検査

放牧試験中の去勢牛3頭から，4月25日に血液10 mLをヘパリン添加真空採血管に取り測定に供した．ヘパリン血1 mLを25 mm径ステンレス製測定皿に取り，ドラフト内で一晩室温放置し風乾した．乾固した血液試料を検出器の先端から10 mmの位置に設置し，アロカ社製GM検出器JDC-123型（東京）にて20分間測定した．正味の測定値は，検出値から未使用測定皿の検出値を除して算出した．

結果および考察

1. 牧草中の放射性ヨウ素および放射性セシウムの濃度

原子力安全委員会は，4月12日付発表「福島第一原子力発電所から大気中への放射性核種（ヨウ素131，セシウム137）の放出総量の推定試算値について」の中で，ヨウ素131およびセシウム137の大気中への総放出量を各々1.5×1017 Bq，1.2×1016 Bqと試算している（原子力安全委員会2011）．那須拠点は福島第一原発の南西約100キロメートルに位置しており栃木県のモニタリングによると，那須拠点に近い那須町の空間線量は事故後3月15日22時30分に最高測定値1.75 μSv/h（那須町役場4階建屋上）を記録し1ヵ月後には約0.2 μSv/h（那須町役場4階建屋上）に減少したが，事故から半年後の9月中旬（9月15日）においても0.13 μSv/h（那須町町立図書館地上10 m）であり，平常時水準までは低下していない（栃木県2011）．空間線量の増加は放射性物質の飛散を反映しており，那須塩原市の数値は不明であるが，その南約50 kmにある宇都宮市保健環境センター屋上における放射性降下物量のモニタリングによると，1日あたりセシウム137が100 MBq/km^{2}を超える測定結果が4月中旬までに3回（3月20～22日，3月30～31日および4月8～10日）観察されており，那須拠点の牧草地も主にこれらの期間のフォールアウトにより汚染されたと推定される（栃木県2011）．

那須拠点の牧草は，イタリアンライグラス優占放牧地内の放牧草を4月3日に，放牧地に隣接するライムギ採草地の一番草を4月14日に刈り取り測定した（表1）．2011年8月の土壌肥料学会において，独立行政法人農業環境技術研究所の木方らの研究グループは，今回の事故によるセシウム134とセシウム137の存在比がおおむね1：1であることを報告（木方ら2011）しているが，我々の牧草測定結果も木方らの報告と一致した．イタリアンライグラス生草におけるヨウ素131，セシウム134およびセシウム137の濃度は各々9,048，59,769および60,288 Bq/kgと非常に高い値であったが，ライムギ生草の濃度は各々75，1,388および1,422 Bq/kgであり，イタリアンライグラス値の約1/40であった．また栃木県も5月3日から牧草における放射性物質濃度の測定を開始し，那須塩原市においては3ヵ所のモニタリングを実施している．それによると5月3日に測定した那須塩原地区1地点の牧草から3,600 Bq/kgの放射性セシウムが，5月25日にも別の地区の牧草から3,500 Bq/kgの放射性セシウムが検出されるなど測定開始から1ヵ月以内にライムギ

Table 1 Concentration of radioiodine and radiocesium in fresh grass

	Radionuclides	Location			
		Nasu research center of NILGS[a]	Nasushiobara1[b]	Nasushiobara2[b]	Nasushiobara3[b]
		Concentration of radionuclides (Bq/kg (fresh weight))			
Italian ryegrass collected on April 3, 2011	I-131	9,048			
	Cs-134	59,769			
	Cs-137	60,288			
	Cs-134+Cs-137	120,056			
Rye collected on April 14, 2011	I-131	75			
	Cs-134	1,388			
	Cs-137	1,422			
	Cs-134+Cs-137	2,810			
Grass collected on May 3, 2011	I-131		ND[c]	ND	
	Cs-134+Cs-137		860	3,600	
Grass collected on May 13, 2011	I-131		ND	ND	
	Cs-134+Cs-137		1,700	550	
Grass collected on May 25, 2011	I-131		ND	ND	ND
	Cs-134+Cs-137		3,500	420	92

[a] Nasu research center of NILGS : 768 Senbonmatsu, Nasushiobara, Tochigi, 329-2793 Japan
[b] Cited by Tochigi ken homepage (http : //www.pref.tochigi.lg.jp/kinkyu/houshasen.html)
[c] ND : Not detected

と同じ程度の汚染が検出されている（栃木県 2011）．4 月 3 日採取のイタリアンライグラスにおける極めて高い放射能濃度の原因は不明であるが，放射性降下物（フォールアウト）の調査結果からも，4 月中旬にかけてフォールアウトの大きなピークが数回あり，そこに葉面吸収の効果が重なったことで高濃度となった可能性がある．また，イタリアンライグラスとライムギは，いずれも冬作物であり，事故時には地上部が生育していたが，放牧利用によってイタリアンライグラスは地面を密に覆う草姿で枯れた部分が多くあったのに対し，ライムギの草姿は直立しており枯れた部分がほとんどなく，ファールアウトの影響をイタリアンライグラスで強く受けたと推察される．

2. 放牧試験牛および舎飼牛における放射性ヨウ素および放射性セシウムの摂取量推定

放牧試験牛の併給飼料および TMR の放射性ヨウ素と放射性セシウム濃度（現物重量当たり）を表 2 にまとめた．また飼料給与量から放射性物質の摂取量を推定した．放牧試験牛の併給飼料からはヨウ素 131 は検出されず，セシウム 134 およびセシウム 137 が各々 15.20 Bq/kg, 14.71 Bq/kg 検出された．併給飼料は一頭あたり 29.2 kg/day 給与されており，放牧草地の放牧前後の刈り取り調査から放牧草は，26.3 kg/day 採食されていたと推定される．放牧試験牛が 4 月 3 日採取のイタリアンライグラスと同程度の汚染牧草を 26.3 kg/day 採食していたと仮定すると，牧草および併給飼料から約 3,158 kBq/day の放射性セシウムを摂取していたこととなる．また 4 月 14 日採取のライムギと同程度の汚染牧草を 26.3 kg/day 採食していたと仮定すると，牧草および併給飼料から約 75 kBq/day の 放射性セシウムを摂取していたこととなる．舎飼牛に給与されていた TMR からはヨウ素 131 は検出されなかったが，セシウム 134 およびセシウム 137 が各々 1.73 Bq/kg, 1.55 Bq/kg 検出された．TMR は舎飼牛一頭あたり 46.7 kg/day 給与されており，舎飼牛は飼料

Table 2 Concentration of radioiodine and radiocesium in feeds and radionuclides intake

	Radionuclides	Concentration of radionuclides in feed (Bq/kg (fresh weight))	Feed intake (kg (fresh weight)/ head/day)	radionuclides intake (Bq/head/day)
Italian ryegrass = a	I-131	9,048	26.3	237,962
	Cs-134	59,769	26.3	1,571,925
	Cs-137	60,288	26.3	1,585,574
	Cs-134+Cs-137	120,056	26.3	3,157,473
Rye = b	I-131	75	26.3	1,973
	Cs-134	1,388	26.3	36,498
	Cs-137	1,422	26.3	37,401
	Cs-134+Cs-137	2,810	26.3	73,899
Supplementary feed = c	I-131	ND[a)]	29.2	0
	Cs-134	15.20	29.2	444
	Cs-137	14.71	29.2	430
	Cs-134+Cs-137	29.91	29.2	873
Italian ryegrass with supplementary feed (a+c)	I-131			237,962
	Cs-134			1,572,369
	Cs-137			1,586,004
	Cs-134+Cs-137			3,158,346
Rye with supplementary feed (b+c)	I-131			1,973
	Cs-134			36,942
	Cs-137			37,830
	Cs-134+Cs-137			74,772
TMR	I-131	ND	46.7	0
	Cs-134	1.73	46.7	81
	Cs-137	1.55	46.7	72
	Cs-134+Cs-137	3.28	46.7	153

[a)] ND : Not detected

から約 153 Bq/day の放射性セシウムを摂取していたこととなる．なお那須塩原市のモニタリングによると，事故以来千本松浄水場にて取水した水道水中に放射性物質は検出されていない（那須塩原市 2011）．したがって飲用水からの放射性核種の取り込みは無かったものとして計算した．

3. 放牧試験牛乳中の放射性ヨウ素および放射性セシウムの濃度

放牧最終日（平成 23 年 4 月 3 日）における 6 頭の乳牛から採取した原乳中の放射性核種を測定したところ，ヨウ素 131 を 1,178.9 ± 2.6 Bq/L，セシウム 134，セシウム 137 を各々564.4 ± 1.1，590.5 ± 1.1 Bq/L 検出した．放牧試験牛は 4 月 4 日から舎飼とし，舎飼牛と同じ TMR を給与した．放牧試験牛を舎飼後，原乳中に含まれるヨウ素 131 および放射性セシウム合計（セシウム 134＋セシウム 137）の濃度推移を図 1 に示した．放牧最終日における放牧試験乳中の放射性ヨウ素および放射性セシウムの濃度は共に 1,000 Bq/L を超えていたが，舎飼に切り替えて舎飼牛と同じ TMR を給与すると，放射性ヨウ素（暫定規制値 300 Bq/kg）は 3 日後に，放射性セシウム合

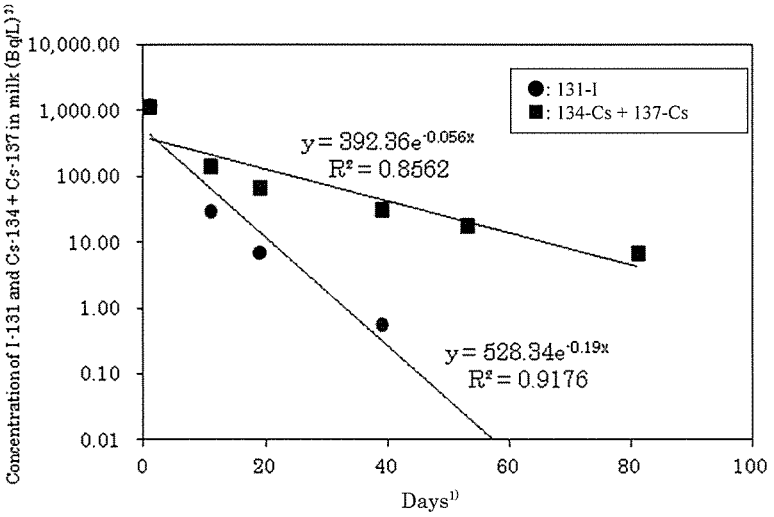

Figure 1 Concentration of radioiodine and radiocesium in milk of cows after a shift from grazing to indoor-feeding.
1) X axis shows the days after the end of grazing.
2) Y axis shows the concentration of radioiodine and radiocesium in milk (Bq/L).

計（暫定規制値 200 Bq/kg）では 7 日後に暫定規制値を下回った．グラフから求めた実効半減期は，放射性ヨウ素がおよそ 3.6 日，放射性セシウムがおよそ 12.4 日だった．放射性ヨウ素は半減期が短く，舎飼に移行すると飼料などに混入していた放射性物質の供給が止まることもあり，原乳中放射性物質の濃度は速やかに低下し 10 日後には 20 Bq/L 以下に，1 ヵ月後には 2 Bq/L 以下に低下した．しかし放射性セシウムの影響は長引き 10 日後に約 120 Bq/L，1 ヵ月後においても約 40 Bq/L 検出された．また舎飼牛の生産乳では，ヨウ素 131 は 4 月 13 日のみ 3.22 ± 0.04 Bq/L 検出されたが，5 月 25 日，6 月 28 日の測定では検出限界値以下（各々0.119 Bq/L，0.050 Bq/L 以下）だった．また放射性セシウムは 4 月 13 日，5 月 25 日にそれぞれ 2.46 ± 0.03 Bq/L および 0.75 ± 0.04 Bq/L 検出されたが，6 月 28 日採乳分は検出限界値以下（0.147 Bq/L 以下）だった．

4. セシウム 137 の移行係数（Fm）

セシウム 137 は半減期が約 30 年と長く長期的な汚染源となることから原発事故等で放出される放射性核種の中でもモニタリング対象として特に重要である．1986 年 4 月に発生したチェルノブイリ原子炉事故に際しても，牧草や牛乳中セシウム 137 濃度の追跡調査結果や野外調査による移行係数の調査報告が各国から多数報告されている（三橋ら 1987；佐伯ら 1995）．1987 年に農林水産省北海道農業試験場で実施したチェルノブイリ事故に伴う牛乳中セシウム 137 の追跡調査では，乳牛を牧草地に放牧後 3 日目からセシウム 137 濃度が上昇を始め，10 日後に最高値に達した後横ばい状態となり，その後徐々に低下した（宮本ら 1987）．また三橋は，チェルノブイリ事故による汚染牧草の給与試験を実施し，セシウムを含む高汚染牧草を給与後 6 日目には飼料中のセシウム 137 と牛乳中セシウム 137 の濃度が平衡状態になったと報告している（三橋 1996）．これらの事例から，飼料中の放射性セシウムの濃度が一定であれば 1 週間程度で飼料―牛乳中セシウム 137 の濃度は平衡状態になると推定できる．放牧試験牛はイタリアンライグラス優占放牧区内に原発事故以前から 4 月 3 日まで毎日 6 時間の時間制限放牧および併給飼料給与にて飼育されていた．そこで飼料―放牧試験乳中セシウム 137 の濃度が平衡状態であったと仮定して，イタリアンライグラスおよび併給飼料と放牧試験乳（4 月 3 日採取分）のセシウム 137 濃度から移行係数 Fm を求めると，Fm ＝ 3.72×10^{-4} day/L であった．

一方，舎飼牛は事故前から継続して畜舎内で飼育され，事故前に収穫し屋内保存していた飼料から調製した TMR を給与されていた．舎飼牛の TMR 給与量は 46.7 kg/day であることから，式 1 に従ってセシウム 137 の乳への移行係数を求めると，4 月中旬の牛群では Fm ＝ 1.74×10^{-2} day/L，5 月下旬の牛群では Fm ＝ 3.32×10^{-3} day/L と算定された．5 月調査の移行係数はチェルノブイリ事故後に各国から報告された結果や，三橋の給与試験の結果とよく一致していた（佐伯ら 1995，三橋 1996）．4 月調査の移行係数が 5 月よりも高く算出された原因として，4 月に給与されていた TMR は，5 月 23 日採取のものよりも放射性物質の環境中からの混入量が多かった可能性があげられる．

5. 放牧試験牛の簡易血液検査結果

血液を採取した試験牛 3 頭のうち 1 頭は 4 月 4 日に，2 頭は 4 月 8 日に，搾乳牛が放牧されていた草地に移さ

れ，放牧草地では併給飼料を給与せずに放牧草のみで飼育されていた．血液採取は4月25日に実施したことから，試験牛が4月14日に採取したライムギと同等の汚染牧草を50 kg/day採食していたと仮定すると，2週間以上にわたって約4 kBq/dayの放射性ヨウ素と140 kBq/dayの放射性セシウムを体内に取り込んでいたこととなる．しかしながらGM検出器による測定では，放牧試験牛3頭の血液の正味測定値は，3.1，1.2，0.5 cpmと小さく，したがって今回実施した簡易法による牛体放射能汚染の推定は極めて難しいと結論した．またGM検出器による測定に先立ち，NaIサーベイメーター（RAM-DATA（PM-10））およびGMサーベイメーター（アロカTSG146）を用いて試験管3検体の表面線量を測定したが，バックグラウンドと同レベルであった．血液をインジケーターとして牛体内の放射能汚染を推定するためには，高濃度の汚染が予想される場合であっても大量の血液を濃縮・乾固して測定に用いるなどの工夫が必要であり，今回試行したような汎用サーベイメーターを用いる簡易推定法を構築するための測定対象としては不適当と考えられる．

6. 総合考察

畜産草地研究所那須拠点では冬期放牧試験を実施していたため，放牧試験牛のみから採取した原乳の放射性核種を測定することができた．福島原発事故を受けた各県の牧草放射能測定は，最も早かった千葉県が4月21日に開始したが，事故直後から4月20日までの測定値は本報告のイタリアンライグラスおよびライムギの2点以外に情報が無い（農林水産省2011）．4月3日に採取した放牧草地のイタリアンライグラスの放射性核種濃度は非常に高い値であった．この測定値をもとに算定したセシウム137の飼料から放牧乳への移行係数（Fm ＝ 3.72×10^{-4} day/L）は，給与飼料中の放射性セシウム濃度が短期間で大きく変化している可能性があり，平衡状態となっているか明らかでないが，2010年IAEA報告値（4.6×10^{-3}（6.8×10^{-4}～6.0×10^{-2}）day/L）の最小値よりも小さい．放射性セシウムの家畜への移行の程度は，その形態によって大きく異なり，チェルノブイリ事故の際に，フォールアウトによって沈着した放射性セシウムの利用性は，根から吸収されて植物体にある形態に比べて低いことが報告されている（Beresfordら2000）．さらに，土壌に結合した放射性セシウムの家畜の消化管からの吸収は極めて低いことが報告されており（Beresfordら1992），採取したイタリアンライグラスの汚染土壌混入やフォールアウトの沈着物の影響によって，低い移行係数となった可能性も考えられる．一方，4月14日に放牧草地に隣接する採草地から採取したライムギの汚染濃度は，イタリアンライグラス値の1/40であった．この濃度の違いは，結果と考察で述べたように，草姿の違いに起因する可能性もある．また原発事故後から数週間は，フォールアウトの量，降雨，風向き，牧草の生育場所など多くの要因が牧草の放射能濃度に影響したと考えられる．このことは文部科学省が公表している福島県各地の雑草の放射性物質のモニタリングの結果からも強く示唆されている（文部科学省2011）．すなわち，那須塩原市の北東約20 kmにある白河市で4月7日から4月24日の期間中に採取された雑草（生草）の放射性セシウム濃度は，最小値1 kBq/kg（4月24日採取雑草）から最大値151 kBq/kg（4月16日採取雑草）の範囲で変動している．雑草でも採取日の違いや採取地の地理的要因が放射性物質濃度に影響したと推察される．

舎飼乳へのセシウム137の移行係数は，4月中旬の牛群では1.74×10^{-2} day/Lと高く，5月下旬の牛群では3.32×10^{-3} day/Lに低下した．この結果は，4月に給与されていたTMRは，大気や環境中の放射性物質の混入により5月23日に採取したTMRよりも汚染されていた可能性を示唆する．また4月中は放射性降下物の量も多く（栃木県2011），放射性物質を含む塵や土埃の直接の取り込み量も5月より大きかったと推察される．加えて4月採乳の舎飼乳からは放射性ヨウ素が検出されている．しかしTMRおよびTMRと共通な原料で調整された併給飼料（4月3日採取）からは放射性ヨウ素が検出されなかった．このことからも4月には飼料の他にも放射性物質の取り込みがあった可能性がある．一方5月下旬に算出した舎飼乳へのセシウム137の移行係数は，チェルノブイリ事故後の各国からの報告や，三橋の給与試験の報告（1996）と一致していた．これは5月に採乳した舎飼乳の汚染源はほぼ飼料由来であることを示唆している．舎飼乳中のヨウ素131濃度は5月下旬の測定時に検出限界値以下に，また放射性セシウム濃度は6月下旬の測定時に検出限界値以下に低下した．TMR調製作業中に混入する放射性物質の減少に伴い，牛乳に移行する量も低下したと考えられる．今後とも舎飼飼養での牛乳の汚染防止を図るためには，特に事故後に収穫した粗飼料のモニタリングを徹底するとともに，飼料以外からの放射性物質の取り込みを最小限に抑えるために畜舎や飼料調製施設への汚染土壌やほこりの持ち込み防止などの管理も重要である．

本報告は事故直後に実施した緊急時調査であることから適切な実験計画に基づいたものではなく，報告値はあくまで参考値ではあるが，放牧草地が最も汚染されたと推定される4月上旬の調査結果であることから，福島第一原発事故による牧草地と屋外飼育搾乳牛の汚染状況の初期値を評価する上で貴重な知見である．しかし，本報の放牧試験牛が採食していた牧草は主にフォールアウトによって汚染されたものであり，放射性物質は牧草表面に付着していたかあるいは葉面吸収されたと考えられるが，今後利用される牧草中の放射性物質は，主に土壌中のものが根から吸収され牧草細胞中に蓄積されたものであろう．したがって搾乳牛にフォールアウトによる汚染

牧草を給与した場合とでは，放射性物質の乳への移行割合や生物学的半減期などその動態は異なる可能性がある．適正な実験計画に基づく汚染牧草の給与試験等を早急に実施することで，牧草中放射性物質の畜産物への移行割合や蓄積量，あるいは家畜排泄物への排出量を正確に知ることが重要である．

謝　　辞

本調査は平成23年度放射能調査研究委託事業「放射性核種の農畜産物への吸収移行および農林水産環境における動態に係る調査研究」における緊急時調査の一環として実施しました．

那須拠点の原乳，牧草および飼料採取にご協力頂いた畜産草地研究所塩谷研究領域長および業務第3科の皆様に深く感謝申し上げます．また震災直後の交通混乱の中，試料輸送にご尽力頂いた同研究所管理課の皆様および小林那須企画管理室長に心よりお礼申し上げます．調査実施および本稿執筆に当たり貴重なご助言を賜りました同研究所寺田企画管理部長，島田畜産研究支援センター長および業務推進室の皆様に心よりお礼申し上げます．

文　　献

Beresford NA, Mayes RW, Cooke AI, Barnett CL, Howard BJ, Lamb CS, Naylor GPL. 2000. The importance of source-dependent bioavailability in determining the transfer of ingested radionuculides to ruminant-derived food products. *Environmental Science & Technology* **34**, 4455-4462.

Beresford NA, Mayes RW, Howard BJ, Lamb CS, Barnett CL, Segal MG. 1992. The bioavailability of deffernt forms of radiocaesium for transfer across the gut of ruminants. *Radiation Protection Dosimetry* **41**, 87-91.

原子力安全委員会．2011．福島第一原子力発電所から大気中への放射性核種（ヨウ素131，セシウム137）の放出総量の推定的試算値について．[homepage on internet]．原子力安全委員会，東京；[cited 05 October 2011]．Available from URL：http：//www.nsc.go.jp/info/20110412.pdf.

International Atomic Energy Agency (IAEA). 2010. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments. IAEA-TRS 472. IAEA, Vienna.

木方展治，大瀬健嗣，栗島克明，井上恒久，小林美穂，宮本進．2011．福島第一原子力発電所事故の影響を受けた農業環境試料のγ線スペクトル．日本土壌肥料学会講演要旨集第57集，152.

三橋俊彦．1996．国産牛乳におけるセシウム-137の移行係数に関する研究．畜産試験場研究報告 **56**，1-6.

三橋俊彦，古川良平．1987．牛乳の放射性核種に関する調査研究．畜産試験場研究報告 **46**，7-16.

宮本　進，宮谷内留行，早坂貴代史．1987．昭和61年度における牛乳の放射能調査．農林水産省関係放射能調査研究年報．B　畜産関係　2-5-2-7.

文部科学省．1960～2010．環境放射能調査研究成果論文抄録集．[homepage on internet]．文部科学省，東京；[cited 05 October 2011]．日本の環境放射能と放射線（ライブラリー）．運営管理者：財団法人日本分析センター．Available from URL：http：//www.kankyo-hoshano.go.jp/08/08_0.html

文部科学省．2011．環境試料の測定結果．[homepage on internet]．文部科学省，東京；[cited 05 October 2011]．Available from URL：http：//www.mext.go.jp/component/a_menu/other/detail/__icsFiles/afieldfile/2011/07/01/1306618_070118k.pdf

那須塩原市．2011．環境放射線量の調査結果．[homepage on internet]．那須塩原市；[cited 05 October 2011]．Available from URL：http：//www.city.nasushiobara.lg.jp/www/toppage/0000000000000/APM03000.html.

農林水産省．2011．牧草中の放射性物質の調査結果について．[homepage on internet]．農林水産省，東京；[cited 05 October 2011]．Available from URL：http：//www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/syouhi/bokusou_kensa.html

佐伯誠道，稲葉次郎，内田滋夫，大桃洋一郎，檀原　宏，宮本進，三橋俊彦，木村秀樹，滝本察春，今熊義一，伊藤幸彦，高橋浩二，岡村泰治，佐々木規行，鎌田　博，古川　進．1995．環境パラメーターシリーズ5：飼料から畜産物への放射性核種の移行係数．公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター，東京.

栃木県．2011．環境放射能の調査結果．[homepage on internet]．栃木県；[cited 05 October 2011]．Available from URL：http：//www.pref.tochigi.lg.jp/kinkyu/houshasen.html.

Urgent study on the contamination of radionuclides in milk of dairy cows following the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant in Japan

Miho KOBAYASHI[1], Kazuyoshi SUZUKI[1], Susumu MIYAMOTO[1], Koichi NISHIMURA[1], Masanori KOMATSU[1], Yasuko TOGAMURA[2], Kazuhiro MATOBA[2] and Yoshiharu KIHO[3]

[1] National Institute of Livestock and Grassland Science (NILGS), Tsukuba 305-0901, Japan
[2] National Institute of Livestock and Grassland Science (NILGS), Nasushiobara, Tochigi 329-2793, Japan
[3] National Institute for Agro-Environmental Sciences (NIAES), Tsukuba 305-8604, Japan

Corresponding : Miho KOBAYASHI (fax : +81 (0) 298-838-8606, e-mail : mihokoba@affrc.go.jp)

The accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant run by the Tokyo Electric Power Company (TEPCO) occurred on March 11, 2011, leading to radionuclides leaks in the external environment. In Nasu research center of NILGS, winter grazing trials of dairy cows were conducted. We studied the contamination of radionuclides in milk of grazing cows on the contaminated pasture and cows fed in indoor cowhouse. Six Holstein dairy cows had grazed on Italian ryegrass-dominant pasture and fed with indoor stored feed before the Fukushima accident until April 3, 2011. The other dairy cows in indoor cowhouse were fed stored total mixed ration (TMR) at all seasons. The concentration of Iodine-131 and total of radiocesium (Cesium-134+cesium-137) in milk of grazing cows on April 3 were 1,178.9 ± 2.6 Bq/L and 1,154.9 ± 1.56 Bq/L, respectively, while, the radioactive contamination of milk obtained from indoor cowhouse remained in low level during April. On April 4, 6 cows stopped grazing and fed TMR. The concentration of radioiodine and radiocesium in milk declined below the provisional regulation value after 3 days and 7 days, respectively.

Nihon Chikusan Gakkaiho 83 (1), 57-64, 2012

Key words : milk, pasture, radioiodine, radiocesium.