

北海道産市販牛乳中の放射性セシウム濃度

Concentration of Radioactive Cesium in Commercial Milk Produced in Hokkaido

市橋 大山 吉田 優也 青柳 直樹

Daisen ICHIHASHI, Yuya YOSHIDA and Naoki AOYANAGI

Key words : radioactive cesium (放射性セシウム) ; commercial milk (市販牛乳) ; Hokkaido (北海道)

緒 言

1945～1980年に世界各地で行われた大気圏内核爆発実験によって、環境中に放出された人工放射性核種は、放射性フォールアウトとして陸上及び海上に降下し、地球上を汚染した¹⁾。また、1986年4月のチェルノブイリ（チェルノブイリ）原子力発電所事故により放出された人工放射性核種は、ロシア、ウクライナ、ベラルーシの旧ソ連地域とヨーロッパ諸国の広大な地域を汚染し、農地や森林、そこから得られる農作物や家畜等の食品にも深刻な影響を与えた²⁾。この事故由来と考えられる人工放射性核種は、事故の数日後には約8,000 km離れた北海道でも降水、牛乳、牧草などの環境試料から検出された³⁾。当所では北海道における放射性物質の動向を把握するため、1957年から継続して食品や環境試料中の放射能調査を実施しており、2010年には、北海道で生産及び販売されている市販牛乳について調査を行った⁴⁾。また、2014年には前調査と同じ銘柄の市販牛乳について再調査を行い、2011年に発生した東京電力福島第一原子力発電所事故（以下、福島第一原発事故）の北海道への影響を報告した⁵⁾。

本報告では、市販牛乳に含まれる放射性セシウム（セシウム-134 (¹³⁴Cs) とセシウム-137 (¹³⁷Cs) の合計) 濃度について、前回の調査から10年経過した2024年に実施した調査の結果を、福島第一原発事故前後（2010年と2014年）に実施した結果と比較した。また、2014年に¹³⁴Csが検出された試料について追跡調査を行った。さらに調査試料と同程度の放射性物質を含む市販牛乳を1年間摂取し続けた際に受ける内部被ばく線量にあたる預託実効線量について解析した。

方 法

1. 調査試料

道内で流通している北海道産原乳100%使用を表記して

いる市販牛乳12種類を、デパート、スーパーマーケット、インターネット販売等から購入した。購入時期は2024年6月～11月で、福島第一原発事故前後に実施した調査^{4, 5)}の試料購入月の前後1カ月以内に合わせた。大部分の試料は賞味期限とロット番号が一致している1 Lパック4本を1回分の分析試料とした。一部、瓶入りの検体やロット番号の未記載、異なるロット番号の試料が混在した場合もあったが、試料ごとの賞味期限は一致していた。また、追跡調査として、2014年の調査で¹³⁴Csが検出された2試料及び比較対象として1試料について、2018年から（比較試料は2021年から）1年に数回の分析を行った。

2. 試料処理

放射能測定法シリーズ「ゲルマニウム半導体検出器等を用いる機器分析のための試料の前処理法」⁶⁾に準拠して行った。試料約4 Lを大型磁製皿に採り、105℃に設定した農業用オープン PSN-60S ((株)清水理化学機器製作所) で乾燥後、ガスコンロで加熱して炭化し、450℃に設定した電気炉 FUW263PA ((株)東洋製作所) で24時間灰化した。この灰試料をふるい（42メッシュ）にかけて均一化し、放射能測定専用容器（U8容器100 mL）に充填した後、ガンマ線スペクトロメトリーに供した。

3. 分析装置

放射性核種分析は3台のゲルマニウム半導体検出器を用いた。

装置1：検出器 ORTEC GEM40190 ((株)ORTEC)（相対効率42.0%、分解能1.95 keV）、多重波高分析器 MCA7700（セイコー・イージーアンドジー(株)）、遮蔽体 LBL ((株)伸和工業）。

装置2：検出器 ORTEC GEM25 ((株)ORTEC)（相対効率34.1%、分解能1.83 keV）、多重波高分析器 MCA7600（セイコー・イージーアンドジー(株)）、遮蔽体 LBV-1-3 ((株)伸和工業）。

装置3：検出器 GEM25-70 ((株)ORTEC)（相対効率30.2%、

分解能 1.79 keV)、多重波高分析器 MCA7a (セイコー・イージーアンドジー(株))、遮蔽体 LBV-1-3 ((株)伸和工業)。

4. 分析方法

放射性核種分析は、放射能測定法シリーズ「ゲルマニウム半導体検出器等によるガンマ線スペクトロメトリー」⁷⁾に準拠して行った。測定時間は 80,000～100,000 秒とした。解析にはガンマスタジオ (セイコー・イージーアンドジー(株)) 及びガンマステーション (セイコー・イージーアンドジー(株)) を用い、計数誤差の 3 倍を検出限界値とした。¹³⁷Cs は 661.7 keV の γ 線を定量ピークとした。¹³⁴Cs は複数のピークのうち 604.7 keV と 795.8 keV の γ 線について、両ピーク共に検出下限値以上のときは 795.8 keV の γ 線を定量ピークとし、両ピーク共に存在が確認できるが一方のピークのみが検出下限値以上のときはそのピークを用いて定量した。また、自然放射性核種であるカリウム 40 (⁴⁰K) についても 1460.8 keV の γ 線を定量ピークとして解析した。

5. 預託実効線量の算出

市販牛乳に含まれる放射性物質を 1 年間摂取したときの預託実効線量を次式⁸⁾により算出した。

預託実効線量 (mSv) = 実効線量係数 (mSv/Bq) × 年間の放射性物質摂取量 (Bq) × 市場希釈補正 × 調理等による減少補正

実効線量係数は ¹³⁴Cs : 1.3×10^{-5} mSv/Bq、¹³⁷Cs : 1.9×10^{-5} mSv/Bq、⁴⁰K : 6.2×10^{-6} mSv/Bq⁹⁾、市場希釈補正及び調理等による減少補正は共に 1 とした。また、調査試料と同程度の放射性物質を含む市販牛乳を 1 年間摂取し続けたときの年間の放射性物質摂取量は次式より算出した。

年間の放射性物質摂取量 (Bq) = 試料中の放射性物質濃度 (Bq/g) × 牛乳の一日摂取量 (g) × 365 (日)

牛乳の一日摂取量は国民健康・栄養調査結果から、2010 年 84.9 g¹⁰⁾、2014 年 79.2 g¹¹⁾、2024 年の結果は本報告執筆時には発表されてなかったことから 2023 年の 80.2 g¹²⁾ とした。

結果及び考察

1. 市販牛乳中の放射性セシウム

2024 年に実施した調査結果に福島第一原発事故前後 (2010 年と 2014 年) の調査結果を合わせて表 1 に示した。¹³⁷Cs は核燃料であるウランやプルトニウムの核分裂によって生成する人工放射性核種で、大気圏内の核爆発実験や原発事故によって自然界に放出される。¹³⁷Cs は事故前の 2010 年で 9 試料 (0.017～0.19 Bq/L)、事故後の 2014 年で 7 試料 (0.029～0.31 Bq/L) から検出され、7 試料共に事故前後で放射能濃度の上昇が認められたが、2024 年に検出されたのは 5 試料 (0.023～0.11 Bq/L) となり、濃度も事故前とほぼ同程度となった。一方、¹³⁴Cs は原子炉内でのみ生成するため、原発事故の影響の指標となる¹³⁾。¹³⁴Cs は事故後の 2014 年調査で No.4 と No.10 の 2 試料からそれぞれ 0.053 Bq/L、0.033 Bq/L 検出され、事故前の 2010 年及び事故後 13 年経過した 2024 年の調査では検出されなかった。¹³⁴Cs の半減期は 2.065 年¹⁴⁾ で 1986 年に発生したチヨルノーベリ原発事故の影響は考えられないことから、わずかではあるが北海道にも福島第一原発事故の影響があったことが確認された。自然放射性核種である ⁴⁰K は 46～51 Bq/L の範囲ですべての試料から検出され、調査期間を通して変化は認められなかった。福島第一原発事故後、2011 年 3 月 17 日に国は食品の摂取によって受ける放射線量 (天然放射性核種を除く) の上限値を年間 5 mSv と設定し、これを達成するための食品の放射性物質の暫定規制値を発表した¹⁵⁾。その後、より一層の安全・安心を確保するために暫定規制値の見直しが行われ、2012 年 4 月 1 日、食品の摂取によって受ける放射線量 (天然放射性核種を除く) の上限値を年間 1 mSv とし、この基準を満たすために放射性セシウム濃度の新しい基準値が設定された¹⁶⁾。牛乳の放射性セシウム濃度の基準値は 50 Bq/kg に設定されているが、2024 年の調査で最も高かった No.4 の放射性セシウム濃度は 0.11 Bq/L (0.10 Bq/kg) で、基準値の 1/500 程度であった。

表 1 北海道における市販牛乳中の放射能濃度 (2010 年、2014 年、2024 年)

製品番号	¹³⁴ Cs (Bq/L)			¹³⁷ Cs (Bq/L)			⁴⁰ K (Bq/L)			比重		
	2010 年	2014 年	2024 年	2010 年	2014 年	2024 年	2010 年	2014 年	2024 年	2010 年	2014 年	2024 年
No. 1	<0.017	<0.025	<0.025	0.022	0.046	0.023	46	47	46	1.033	1.034	1.034
No. 2	<0.020	<0.032	<0.024	<0.015	0.029	<0.018	46	46	46	1.034	1.034	1.034
No. 3	<0.020	<0.023	<0.025	0.017	0.098	<0.024	48	46	49	1.033	1.034	1.036
No. 4	<0.020	0.053	<0.028	0.19	0.31	0.11	46	46	48	1.034	1.035	1.034
No. 5	<0.021	<0.025	<0.023	<0.015	<0.022	<0.019	48	47	47	1.034	1.035	1.036
No. 6	<0.020	<0.032	<0.024	0.095	0.12	0.057	48	47	48	1.033	1.034	1.034
No. 7	<0.021	<0.023	<0.028	<0.015	<0.021	<0.021	47	48	50	1.035	1.035	1.032
No. 8	<0.020	<0.024	<0.029	0.023	<0.020	<0.021	48	48	49	1.034	1.035	1.036
No. 9	<0.021	<0.025	<0.025	0.057	0.064	0.064	51	50	51	1.034	1.036	1.034
No.10	<0.022	0.033	<0.025	0.053	0.093	0.067	49	48	50	1.034	1.035	1.034
No.11	<0.021	<0.025	<0.025	0.026	<0.021	<0.021	50	48	51	1.034	1.036	1.036
No.12	<0.018	<0.024	<0.029	0.021	<0.022	<0.020	48	47	48	1.034	1.035	1.034

2014 年の調査で ^{134}Cs が検出された No.4、No.10 と、比較試料として No.12 について、2018 年 5 月から 2025 年 2 月に行った放射能調査の結果を表 2 に示した (No.12 は 2021 年 5 月から実施)。 ^{134}Cs はすべての試料から検出されなかった。 ^{137}Cs は No.4 及び No.10 のすべての試料からそれぞれ 0.033~0.26 Bq/L、0.028~0.090 Bq/L の範囲で検出され、No.12 では 12 試料中 3 試料から検出下限値をわずかに超える 0.020~0.022 Bq/L の範囲で検出された。

No.4、No.10 及び No.12 の ^{137}Cs 濃度の変化を図 1 に示した。No.4 については冬期 (2 月) に ^{137}Cs 濃度が低くなる傾向が認められたが、No.10 に季節的な変動の傾向は認められなかった。

2. 預託実効線量の推定

牛乳の摂取による内部被ばくを評価するため、調査試料と同程度の放射性物質を 1 年間摂取し続けたときの預託実効線量を算出し、表 3 に示した。

表 2 北海道における市販牛乳中の放射能濃度 (2018 年 5 月～2025 年 2 月)

採取年月	No.4			No.10			No.12		
	^{134}Cs (Bq/L)	^{137}Cs (Bq/L)	^{40}K (Bq/L)	^{134}Cs (Bq/L)	^{137}Cs (Bq/L)	^{40}K (Bq/L)	^{134}Cs (Bq/L)	^{137}Cs (Bq/L)	^{40}K (Bq/L)
2010 年	<0.020	0.19	46	<0.022	0.053	49	<0.018	0.021	48
2014 年	0.053	0.31	46	0.033	0.093	48	<0.024	<0.022	47
2018 年 5 月	<0.022	0.096	52	<0.023	0.090	51			
2018 年 8 月	<0.023	0.086	51	<0.025	0.077	36			
2018 年 11 月	<0.021	0.15	50	<0.023	0.054	52			
2019 年 2 月	<0.026	0.079	43	<0.027	0.063	43			
2019 年 5 月	<0.021	0.14	53	<0.023	0.066	55			
2019 年 9 月	<0.021	0.095	55	<0.026	0.047	52			
2020 年 2 月	<0.027	0.092	52	<0.031	0.072	52			
2020 年 5 月	<0.025	0.12	56	<0.026	0.055	55			
2020 年 9 月	<0.021	0.21	53	<0.025	0.061	55			
2021 年 2 月	<0.026	0.10	50	<0.026	0.051	49			
2021 年 5 月	<0.027	0.078	50	<0.027	0.070	49	<0.024	<0.019	49
2021 年 9 月	<0.029	0.26	49	<0.028	0.032	49	<0.029	<0.021	48
2022 年 2 月	<0.024	0.079	48	<0.026	0.049	48	<0.024	<0.022	49
2022 年 5 月	<0.025	0.13	49	<0.024	0.038	49	<0.024	<0.021	47
2022 年 9 月	<0.024	0.14	49	<0.024	0.075	46	<0.028	0.022	47
2023 年 2 月	<0.028	0.033	48	<0.024	0.046	46	<0.025	<0.021	48
2023 年 6 月	<0.022	0.066	48	<0.024	0.060	49	<0.026	<0.021	49
2023 年 10 月	<0.024	0.13	48	<0.025	0.028	48	<0.024	<0.020	48
2024 年 2 月	<0.023	0.10	49	<0.021	0.078	46	<0.023	0.021	47
2024 年 6 月	<0.024	0.090	48	<0.024	0.047	49	<0.025	<0.021	49
2024 年 10 月	<0.028	0.11	48	<0.025	0.058	48	<0.024	0.020	47
2025 年 2 月	<0.025	0.070	49	<0.025	0.070	49	<0.024	<0.020	46

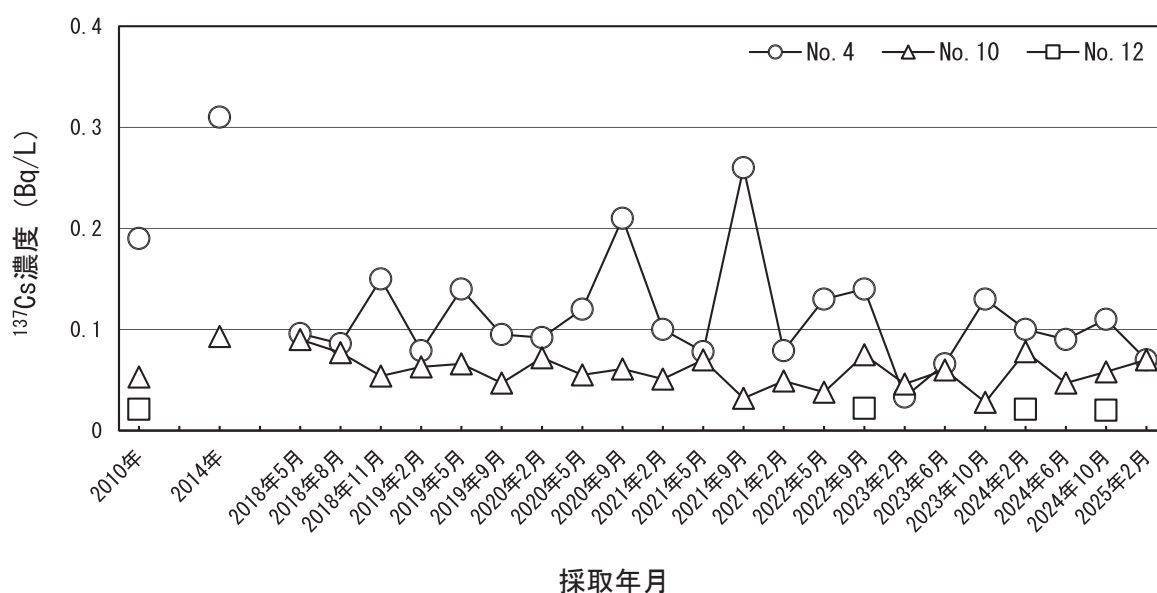


図 1 市販牛乳中の ^{137}Cs 濃度

表3 市販牛乳中の放射能による預託実効線量

製品番号	¹³⁴ Cs (10 ⁻³ mSv/year)			¹³⁷ Cs (10 ⁻³ mSv/year)			⁴⁰ K (10 ⁻³ mSv/year)		
	2010 年	2014 年	2024 年	2010 年	2014 年	2024 年	2010 年	2014 年	2024 年
No. 1	—	—	—	0.0084	0.017	0.0086	8.6	8.1	8.0
No. 2	—	—	—	—	0.011	—	8.5	7.9	8.1
No. 3	—	—	—	0.0066	0.035	—	8.9	8.0	8.6
No. 4	—	0.028	—	0.074	0.11	0.040	8.6	8.0	8.4
No. 5	—	—	—	—	—	—	8.9	8.1	8.3
No. 6	—	—	—	0.037	0.045	0.021	8.9	8.1	8.5
No. 7	—	—	—	—	—	—	8.8	8.3	8.8
No. 8	—	—	—	0.0091	—	—	8.9	8.3	8.5
No. 9	—	—	—	0.022	0.023	0.024	9.5	8.7	8.9
No.10	—	0.017	—	0.021	0.034	0.025	9.2	8.2	8.8
No.11	—	—	—	0.010	—	—	9.3	8.4	8.9
No.12	—	—	—	0.0082	—	—	8.9	8.1	8.4

預託実効線量係数：¹³⁴Cs； 1.3×10^{-5} mSv/Bq、¹³⁷Cs； 1.9×10^{-5} mSv/Bq、⁴⁰K； 6.2×10^{-6} mSv/Bq

1日当たりの牛乳消費量：2010年；84.9 g、2014年；79.2 g、2023年；80.2 g

牛乳消費量は国民健康・栄養調査より引用。2024年については現時点で調査結果が報告されていないため2023年の報告値を用いた。

各年の調査で放射性セシウムによる預託実効線量が最も高かったのは、2010年 7.4×10^{-5} mSv/年、2014年 1.4×10^{-4} mSv/年、2024年 4.0×10^{-5} mSv/年で、いずれも No.4 の牛乳であった。自然放射性物質である ⁴⁰K による預託実効線量は2010年 $8.5 \times 10^{-3} \sim 9.5 \times 10^{-3}$ mSv/年、2014年 $7.9 \times 10^{-3} \sim 8.7 \times 10^{-3}$ mSv/年、2024年 $8.0 \times 10^{-3} \sim 8.9 \times 10^{-3}$ mSv/年で各調査における差は認められなかった。

2024年の調査において、最も放射性セシウム濃度の高かった No.4 の放射性セシウムによる預託実効線量は、食品の摂取によって受ける放射線量の上限值である年間1 mSv¹⁶⁾ の1/25,000であり、自然放射性物質である ⁴⁰K による預託実効線量の1/210であった。

牛乳は地域で生産される牧草等を給餌された乳牛から生産されるため、原発事故や核保有国による核兵器の使用等により環境が汚染されると、土壌から牧草、家畜に移行した放射性物質の影響が反映される。北海道各地で生産され入手が容易な市販牛乳は、原子力事故が発生した際の影響評価に有効であることから、今後も継続して調査を行う必要があると考える。

文 献

- 市川龍資：13 環境における人工放射性物質Ⅰ（放射性降下物）。環境放射能（佐伯誠道編），ソフトサイエンス社，東京，1984，pp.28-37
- 杉浦紳之：特集 チェルノブイリ事故から私たちが学んだこと VI. 事故後の環境影響。日本原子力学会誌，44(2)，193-199（2002）
- 福田一義，奥井登代，小林 智：チェルノブイリ原発事故に由来する ¹³¹I 及び ¹³⁷Cs の放牧時における牧草から原乳への移行について。第28回環境放射能調査研究成果発表会論文抄録集，356-358（1986）
- 北海道立衛生研究所編：放射能調査年報54（平成22年4月～平成23年3月），北海道立衛生研究所，札幌，平成23年12月，p.11，https://www.iph.pref.hokkaido.jp/Kankobutsu/housyanou/housyanou54_H22.pdf（確認：2025年6月6日）
- 青柳直樹，市橋大山，佐藤千鶴子：市販牛乳からみた福島第一原発事故の北海道への影響。北海道公衆衛生学雑誌，30(2)，63-68（2016）
- 文部科学省科学技術・学術政策局原子力安全課防災環境対策室編：放射能測定法シリーズ13 ゲルマニウム半導体検出器等を用いる機器分析のための試料の前処理法。財団法人日本分析センター，千葉，1982，pp.16-17
- 文部科学省科学技術・学術政策局原子力安全課防災環境対策室編：放射能測定法シリーズ7 ゲルマニウム半導体検出器等によるガンマ線スペクトロメトリー（平成4年改訂）。財団法人日本分析センター，千葉，1992年
- 原子力安全委員会：環境放射線モニタリング指針。原子力規制委員会，東京，2010，pp.42-48
- International Commission on Radiological Protection (ICRP)：ICRP Publication 72: Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 5. Compilation of ingestion and inhalation dose coefficients. Ann. ICRP，26(1)，16, 27（1996）
- 厚生労働省健康局がん対策・健康増進課：第1部 栄養素等摂取状況調査の結果。平成22年国民健康・栄養調査報告，厚生労働省，東京，平成24年5月，p.80
- 厚生労働省健康局がん対策・健康増進課栄養指導室：第1部 栄養素等摂取状況調査の結果。平成26年国民健康・栄養調査報告，厚生労働省，東京，平成28年3月，p.88
- 厚生労働省健康・生活衛生局健康課栄養指導室：第1部 栄養摂取状況調査の結果。令和5年国民健康・栄養調査報告，厚生労働省，東京，令和7年3月，p.88
- 河田 燕，山田崇裕：原子力事故により放出された放射性セシウムの ¹³⁴Cs/¹³⁷Cs 放射能比について。Isotope News，697，16-20（2012）
- 社団法人日本アイソトープ協会編：アイソトープ手帳11版。社団法人日本アイソトープ協会，東京，2011，p.63
- 厚生労働省医薬食品局食品安全部長通知食安発0317第3号「放射能汚染された食品の取り扱いについて」，平成23年3月17日
- 厚生労働省医薬食品局食品安全部長通知食安発0315第1号「乳及び乳製品の成分規格等に関する省令の一部を改正する省令，乳及び乳製品の成分規格等に関する省令別表の二の（一）の（1）の規定に基づき厚生労働大臣が定める放射性物質を定める件及び食品，添加物の規格基準の一部を改正する件について」，平成24年3月15日