

1986年10月29日

チェルノブイリ原発事故以降の牛乳中放射能調査結果について

今中哲二、小出裕章

京都大学原子炉実験所

チェルノブイリ原発事故にともなう放射能汚染調査の一環として、北海道産及び中国地方産の産直牛乳の放射能測定を継続している。ヨウ素-131の濃度は6月末でほぼ検出限界値まで減少したが、セシウム-134、137については現時点でも検出されている。ここでは、この間の測定結果のまとめと牛乳摂取にともなう被曝線量の見積りとを示す。

1. 測定結果

製造日換算の放射能濃度 (pCi/l)						
製造日	測定日	測定時間	I-131	Cs-137	Cs-134	K-40
1/6 (北海道産)	1/20	1294		6.52	2.54	7300
4月29日	6月4日	1430分	ND	1.9	ND	1300
5 14	5 24	1120	23	3.3	ND	1300
5 19	5 25	640	8.6	ND	ND	1200
5 27	6 12	1540	ND	4.9	ND	1200
6 2	6 8	1340	7.1	9.2	ND	1300
6 28	7 5	1860	ND	9.3	3.0	1300
7 4	7 10	1280	ND	13	3.1	1300
7 18	7 24	1490	ND	11	4.4	1300
8 15	8 22	1780	ND	7.4	2.0	1300
9 15	9 26	1580	ND	10	3.3	1300
10 3	10 18	2690	ND	8.6	3.0	1300
11 10	11 21	2365		6.91	1.96	1200
(中国地方産)	12 23	1817.7		6.16	2.85	1200
5月17日	5月23日	440	65	10	ND	1300
5 24	5 27	860	34	16	7.8	1200
5 30	6 5	1520	15	15	ND	1100
6 10	6 13	1440	7.1	15	8.4	1200
7 1	7 6	2460	1.5	14	7.2	1200
7 26	7 29	1270	ND	14	6.3	1300
8 26	8 31	1830	ND	8.9	2.3	1300
9 22	9 27	1190	ND	14	4.9	1200
10 18	10 20	2900	ND	5.0	1.6	1300
11 18	11 23	2932		3.82	1.80	1200
12 16	12 19	5688.3		5.46	1.04	1200
87 1 10	1 18	3119.6		4.76	0.95	1100

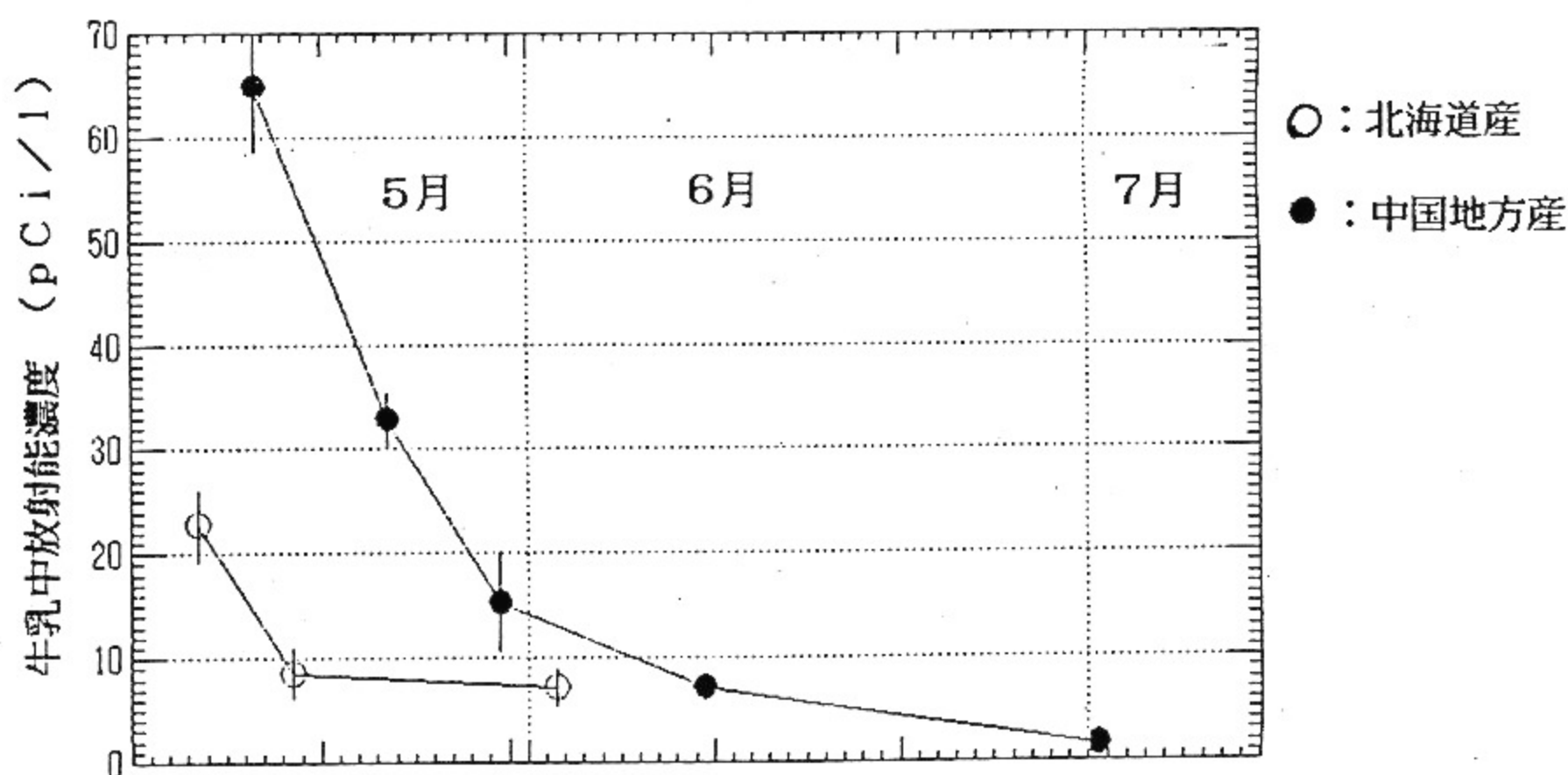
注1：測定は、ゲルマニウム半導体測定器を用いた、ガンマ線エネルギースペクトル分析法による。サンプル量はいずれも1リットル。

注2：NDは、検出限界以下であったことを示す。（検出限界の値は、装置の性能・測定方法などに依存し、NDとなっても、その放射能がなかったとは必ずしも言えない。）

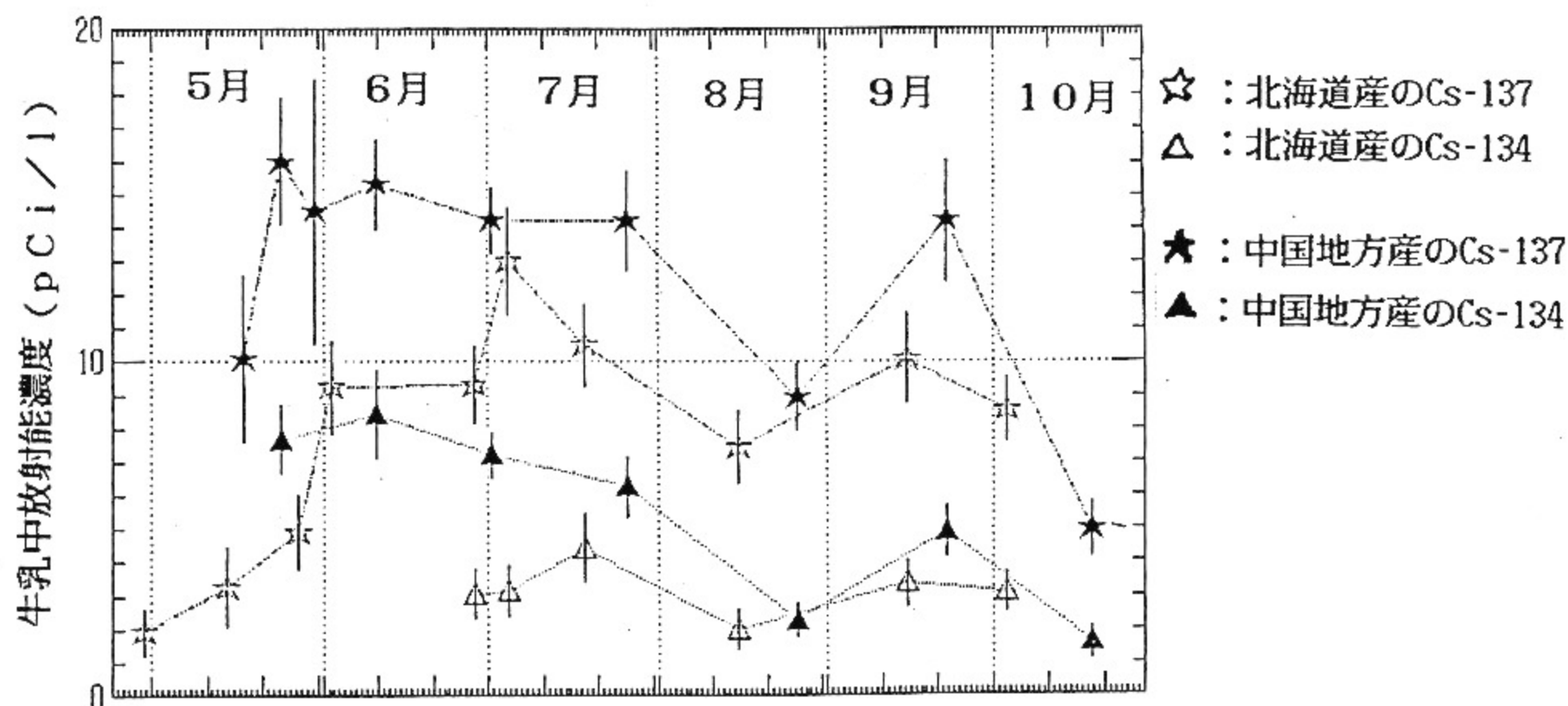
注3：4月29日のサンプルは、今回の汚染以前に製造されたもの。従って、そのセシウム-137は、従来の核実験によるもの。

注4：5月27日のサンプルからヨウ素-131が検出されなかったのは、測定にかけるまでの時間に、減衰したためと思われる。5月19日のサンプルでセシウム-137が検出されていないのは、測定時間が短かったためと思われる。

注5：カウム-40は天然放射能。各核種の半減期は、ヨウ素-131：8日、セシウム-137：30年、セシウム-134：2年、カウム-40：13億年。



ヨウ素-131濃度の推移 注：縦棒は計数の誤差を示す
検出限界以下のデータは除いた



セシウム-137とセシウム-134濃度の推移

2. 被曝線量の見積り

(1) 累積汚染量の見積り

被曝線量を計算するには、まずどの程度の汚染がどのくらい続いたか決める必要がある。ここでは、チェルノブイリ事故以降約半年間の累積濃度として、次の値を用いる。(付録1参照)

(累積濃度)

ヨウ素-131 : 900 (pCi/l)・day
セシウム-137 : 1800 (pCi/l)・day
セシウム-134 : 900 (pCi/l)・day

900(pCi/l)・dayの累積濃度とは、

900(pCi/l)の濃度が、1日だけあった、

または、90(pCi/l)の濃度が、10日間続いた、

または、9 (pCi/l)の濃度が、100日間続いた、

というのと同等である。

(2) 牛乳摂取量の見積り

毎日どのくらいの量の牛乳を飲むかは、もちろん人によって違ってくる。ここでは計算用のモデルとして、年齢区分別に次のような摂取量の人を考える。

(1日当り牛乳摂取量)

大人 (20才以上)	200 c c
青年 (10-19才)	300 c c
幼児 (1-9才)	300 c c
乳児 (1才未満)	600 c c

(3) この半年間の牛乳摂取による被曝線量

上記の、放射能汚染の累積濃度と1日当りの牛乳摂取量の仮定に基づいて、放射能の取り込みによる内部被曝線量を、年齢区分別に計算すると以下のような値が得られる。

(付録2参照)

	1-131による甲状腺 被曝線量	Cs-137とCs-134とを合わせた全身被曝線量
大人	0.3 ミリム	0.03 ミリム
青年	0.7	0.08
幼児	2.6	0.20
乳児	10	1.2

注：天然放射性核種K-40については、もともと体内に全身平均で1600pCi/kg程度の濃度で存在している。それによる全身被曝線量は、年間で約20ミリレム程度である。

付録1. 累積濃度の見積り

この半年間の汚染を以下のものであったと仮定する。

ヨウ素-131について、
 5月5日～5月20日 16日間 平均 40pCi/l
 5月21日～6月20日 31日間 平均 8pCi/l
 6月21日以降 0pCi/l。

従って、汚染の累積濃度は、 $40 \times 16 + 8 \times 31 = 888$ [(pCi/l)・day]
 となる。もともと大ざっぱな見積りなので、線量計算に用いるヨウ素-131の累積濃度は、900 (pCi/l)・dayとする。

同じく、セシウムについては、この半年間(180日)の平均濃度として、

セシウム-137は 10pCi/l、 セシウム-134は 5pCi/l
 とする。従って、それぞれの累積濃度は、

セシウム-137は $180 \times 10 = 1800$ [(pCi/l)・day]
 セシウム-134は $180 \times 5 = 900$ [(pCi/l)・day] となる。

付録2. 被曝線量の計算方法

計算式：

ある核種を1ピコキュリー飲食物とともに体内に取り込んだとき、その核種が集まる臓器の被曝線量 D_0 (ミリラ/pCi) は次式で計算される。

$$D_0 = 0.051 \times f \times t \times E / m \quad \text{ミリラ/pCi}$$

f：その核種が、着目している臓器に集まる割合

t：その核種の、着目している臓器中での平均存在日数(単位:day)

E：その核種からの放射線が、着目している臓器へ与えるエネルギー
 (単位:MeV)

m：着目している臓器の重量(単位:g)

着目臓器は、ヨウ素については甲状腺、セシウムについては全身とする。大人の場合、各定数ならびに D_0 は以下の通りである。

	ヨウ素-131	セシウム-137	セシウム-134
着目臓器	甲状腺	全身	全身
臓器重量：m (g)	20	60,000	60,000
到達割合：f	0.3	1.0	1.0
存在日数：t (日)	11	100	94
放射線エネルギー：E (MeV)	0.23	0.59	1.1
D_0 : ミリラ/pCi	0.0019	0.000050	0.000088

子供の場合、臓器重量が異なるので D_0 の値は違ってくる。始めの式の関係から、次のような式が得られる。

$$D_0[\text{子供}] = D_0[\text{大人}] \times m[\text{大人}] / m[\text{子供}]$$

大人（20才以上、体重60kg、甲状腺20g）、

青年（10-19才、体重40kg、甲状腺15g）、

幼児（1-9才、体重15kg、甲状腺4g）、

乳児（1才未満、体重5kg、甲状腺2g）

に分けて、それぞれの D_0 値を求めると次のようになる。

	（年令区分別 D_0 値：ミリム/pCi）		
	ヨウ素-131 甲状腺	セシウム-137 全身	セシウム-134 全身
大人	0.0019	0.000050	0.000088
青年	0.0025	0.000075	0.00013
幼児	0.0095	0.00020	0.00035
乳児	0.019	0.00060	0.0011

計算例：

ヨウ素-131濃度50pCi/l、セシウム-137濃度10pCi/lの牛乳を、幼児が30日の間毎日300cc（0.3リットル）飲み続けたときの、被曝線量を計算するといくらになるか？

まず、30日間の牛乳中放射能の累積濃度を求めると、

ヨウ素-131では、 $50 [\text{pCi/l}] \times 30 [\text{day}] = 1500 [(\text{pCi/l}) \cdot \text{day}]$

セシウム-137では、 $10 \times 30 = 300 [(\text{pCi/l}) \cdot \text{day}]$

となる。

次に、1日当り牛乳摂取量（0.3 l/day）を用いて、この人が30日間に取り込んだ放射能の量を求めると、

ヨウ素-131では、 $1500 [(\text{pCi/l}) \cdot \text{day}] \times 0.3 [\text{l/day}] = 450 [\text{pCi}]$

セシウム-137では、 $300 \times 0.3 = 90 [\text{pCi}]$

となる。

1pCiの取り込み当りの被曝線量（ D_0 値）は先の表に示してある。従って、30日間の牛乳摂取にともなうこの人の被曝線量は、

ヨウ素-131による甲状腺被曝、 $0.0095 [\text{ミリム/pCi}] \times 450 [\text{pCi}] = 4.3 [\text{ミリム}]$

セシウム-137による全身被曝、 $0.002 \times 90 = 0.18 [\text{ミリム}]$

となる。

子供の場合、臓器重量が異なるので D_0 の値は違ってくる。始めの式の関係から、次のような式が得られる。

$$D_0[\text{子供}] = D_0[\text{大人}] \times m[\text{大人}] / m[\text{子供}]$$

大人（20才以上、体重60kg、甲状腺20g）、
 青年（10-19才、体重40kg、甲状腺15g）、
 幼児（1-9才、体重15kg、甲状腺4g）、
 乳児（1才未満、体重5kg、甲状腺2g）
 に分けて、それぞれの D_0 値を求めると次のようになる。

	（年齢区分別 D_0 値：ミリム/pCi）		
	ヨウ素-131 甲状腺	セシウム-137 全身	セシウム-134 全身
大人	0.0019	0.000050	0.000088
青年	0.0025	0.000075	0.00013
幼児	0.0095	0.00020	0.00035
乳児	0.019	0.00060	0.0011

計算例：

ヨウ素-131濃度50pCi/l、セシウム-137濃度10pCi/lの牛乳を、幼児が30日の間毎日300cc（0.3リットル）飲み続けたときの、被曝線量を計算するといくらになるか？

まず、30日間の牛乳中放射能の累積濃度を求めると、
 ヨウ素-131では、 $50 [\text{pCi/l}] \times 30 [\text{day}] = 1500 [(\text{pCi/l}) \cdot \text{day}]$
 セシウム-137では、 $10 \times 30 = 300 [(\text{pCi/l}) \cdot \text{day}]$
 となる。

次に、1日当り牛乳摂取量（0.3 l/day）を用いて、この人が30日間に取り込んだ放射能の量を求めると、
 ヨウ素-131では、 $1500 [(\text{pCi/l}) \cdot \text{day}] \times 0.3 [\text{l/day}] = 450 [\text{pCi}]$
 セシウム-137では、 $300 \times 0.3 = 90 [\text{pCi}]$
 となる。

1pCiの取り込み当りの被曝線量（ D_0 値）は先の表に示してある。従って、30日間の牛乳摂取にともなうこの人の被曝線量は、
 ヨウ素-131による甲状腺被曝、 $0.0095 [\text{ミリム/pCi}] \times 450 [\text{pCi}] = 4.3 [\text{ミリム}]$
 セシウム-137による全身被曝、 $0.002 \times 90 = 0.18 [\text{ミリム}]$
 となる。

今回の被曝線量：

$$[\text{被曝線量}] = [\text{累積濃度}] \times [1\text{日当り牛乳摂取量}] \times [\text{被曝線量換算係数: } D_0\text{値}]$$

単位：ミリレム

	I-131による甲状腺被曝	Cs-137による全身被曝	Cs-134による全身被曝
大人	$900 \times 0.2 \times 0.0019 = 0.34$	$1800 \times 0.2 \times 0.000050 = 0.018$	$900 \times 0.2 \times 0.000088 = 0.016$
青年	$900 \times 0.3 \times 0.0025 = 0.68$	$1800 \times 0.3 \times 0.000075 = 0.041$	$900 \times 0.3 \times 0.00013 = 0.035$
幼児	$900 \times 0.3 \times 0.0095 = 2.6$	$1800 \times 0.3 \times 0.00020 = 0.11$	$900 \times 0.3 \times 0.00035 = 0.095$
乳児	$900 \times 0.6 \times 0.019 = 10$	$1800 \times 0.6 \times 0.00060 = 0.65$	$900 \times 0.6 \times 0.0011 = 0.59$