

第 48 回城西大学薬学部生涯教育講座

食品中の放射性物質による 健康影響について

内閣府食品安全委員会
事務局 評価課

林 亜紀子



食品安全委員会

Food Safety Commission

食品中の放射性物質による健康影響について

食品安全委員会事務局

林 亜紀子

1

放射線、放射性物質について

2

放射線とは

物質を通過する高速の粒子、高いエネルギーの電磁波

ガンマ(γ)線／エックス(X)線

□ ガンマ線はエックス線と同様の電磁波

物質を透過する力がアルファ線やベータ線に比べて強い

ベータ(β)線

□ 電子の流れ

薄いアルミニウム板で遮ることができる

アルファ(α)線

□ ヘリウムと同じ原子核の流れ

薄い紙1枚程度で遮ることができる

α線

β線

γ線・X線

紙

アルミニウム等
薄い金属板

鉛

3

放射能と人体影響の単位

■「放射能の強さ」の単位は「ベクレル」

■「人体影響レベル」の単位は「シーベルト」

■ベクレルとシーベルトをつなぐ「実効線量係数」

単位：ベクレル(Bq)

放射線を出す能力の強さ

食品検査などの結果表示で使う

内部被ばく

単位：シーベルト(Sv)

全身の人体影響(実効線量)

実効線量係数

放射性物質の摂取後50年間(子供は70歳まで)に受ける線量を計算するための換算係数

4

放射性物質を摂った時の人体影響(計算方法)

例：1kgあたり500ベクレルのセシウム137を含む食品を1kg食べた場合の放射線による人体影響の程度(シーベルト)

(成人の場合)

ベクレル/kg × 食べた量(kg) × 実効線量係数 = ミリシーベルト(mSv)

500ベクレル/kg × 1kg × 0.000013 = 0.0065ミリシーベルト(mSv)

実効線量係数は

放射性物質の種類(セシウム137など)ごと、

摂取経路(経口、吸入など)ごと、

年齢区分ごとに、国際放射線防護委員会(ICRP)等で設定

5

放射性物質が減る仕組み

体内に入った放射性物質は、放射性物質の性質と排泄などの体の仕組みによって減少する

物理学的半減期

(放射性物質の放射能が減る)

100ベクレル → 50ベクレル → 25ベクレル

減衰

減衰

物理学的半減期の例

・セシウム134は2.1年

・セシウム137は30年

・ヨウ素131は8日

(体内に) 生物学的半減期

(体内の放射性物質が減る)

100g → 50g → 25g

排出

排出

排出

放射性セシウムの生物学的半減期

～1歳 9日

～9歳 38日

～30歳 70日

～50歳 90日

6

5

内部被ばくと外部被ばく

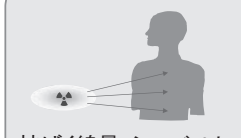
- 内部被ばくも外部被ばくも、人体影響は同じ単位の「シーベルト」
- 内部被ばくでは、体内での存在状況に応じた放射性物質からの被ばくが続くことを考慮して線量が計算される

内部被ばく (食品摂取・吸入)



被ばく線量の単位：シーベルト
＝放射能の強さ(ベクレル)×実効線量係数
摂取後50年間(子供は70歳まで)
に受ける積算の線量(預託線量)

外部被ばく

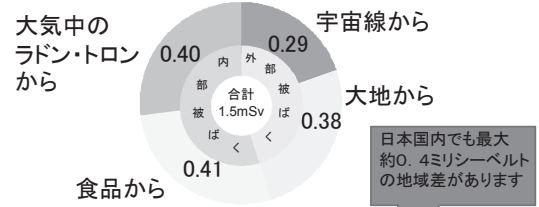


被ばく線量：シーベルト
＝線量率(mSv/時)×被ばくした時間(時)

7

もともとある自然放射線から受ける線量

1人あたりの年間線量(日本人平均)は、約1.5ミリシーベルト



出典：放射線医学総合研究所 2007

- 自然放射線の量は地質により異なるため、地域差がある
- 食品にはカリウム40などが含まれている

8

通常の食品に含まれる放射性物質 (カリウム40)

食品名	放射能	食品名	放射能
干し昆布	2,000Bq/kg	魚	100Bq/kg
干し椎茸	700Bq/kg	牛乳	50Bq/kg
お茶	600Bq/kg	米	30Bq/kg
ドライミルク	200Bq/kg	食パン	30Bq/kg
生わかめ	200Bq/kg	ワイン	30Bq/kg
ほうれん草	200Bq/kg	ビール	10Bq/kg
牛肉	100Bq/kg	清酒	1Bq/kg

(ATOMICA(財)高度情報科学技術研究機構から転載(出典：(独)放射線医学総合研究所資料))

※カリウムは、ナトリウムの排泄を促し血圧の上昇を制御するなど、健康を保つのに必要なミネラル
カリウムは自然界に存在し、動植物にとって必要な元素であり、その0.012%程度が放射性物質であるカリウム40

9

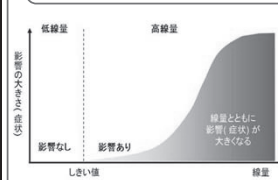
放射線による健康影響の種類

確定的影響

- 比較的高い放射線量で出る影響
- 高線量による脱毛、不妊など

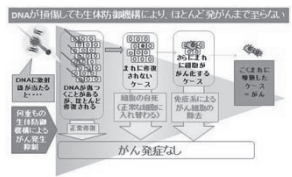
急性被ばくによる永久不妊のしきい値は
男性3500mSv、女性2500mSv

出典：国際放射線防護委員会(ICRP)
「妊娠と医療放射線(Publication 84)」



確率的影響

- 発症の確率が線量とともに増えると考えられる影響
- がん(白血病含む)
(遺伝的影響については、ヒトの調査では見られていません)

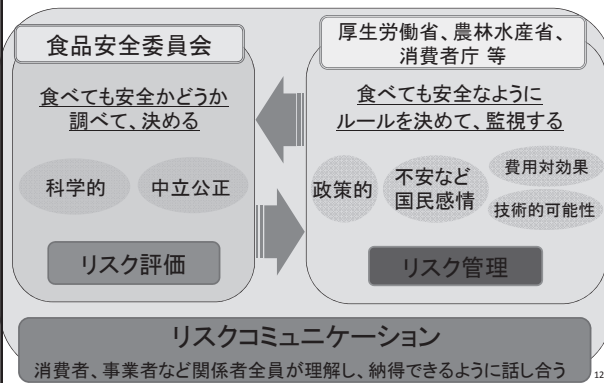


10

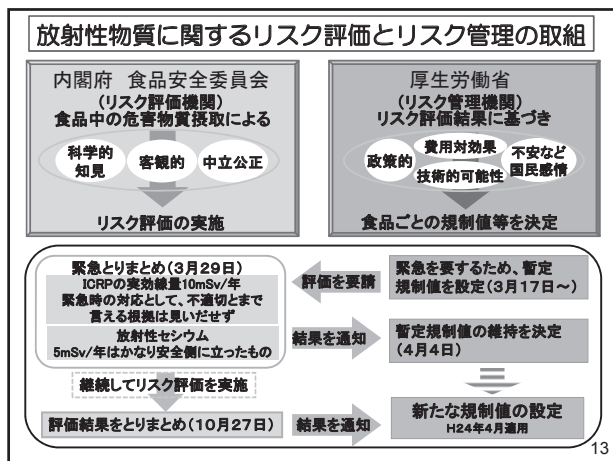
食品中の放射性物質に関する 食品健康影響評価 (食品安全委員会のリスク評価)

11

食品の安全と安心を守るしくみ(リスク分析)



12



13

(参考)

食品衛生法に基づく暫定規制値

放射性ヨウ素 (混合核種の代表核種: ^{131}I)	飲料水、牛乳・乳製品(注)	300Bq/kg
	野菜類(根菜、芋類を除く。)、 魚介類(23年4月5日～)	2000Bq/kg
放射性セシウム	飲料水、牛乳・乳製品	200Bq/kg
	野菜類、穀類、肉・卵・魚・その他	500Bq/kg
ウラン	乳幼児用食品、飲料水、牛乳・ 乳製品	20Bq/kg
	野菜類、穀類、肉・卵・魚・その他	100Bq/kg
プルトニウム及び超ウラン 元素のアルファ核種 (^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{242}Pu , ^{241}Am , ^{242}Cm , ^{243}Cm , ^{244}Cm 放射能濃度の合計)	乳幼児用食品、飲料水、牛乳・ 乳製品	1Bq/kg
	野菜類、穀類、肉・卵・魚・その他	10Bq/kg

(注) 100Bq/kgを超えるものは、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
「野菜類」には、葉菜、果菜、きのこ、果実、海藻、根菜、芋類が含まれる。
「穀類」には、米、豆類等、可食部が地上部において殻で覆われている食品群が含まれる。
「肉・卵・魚・その他」には、茶、魚介類が含まれる。

14

食品健康影響評価にあたって①

- 国内外の放射線の健康影響に関する文献を検討(約3300文献)
- UNSCEAR(原子放射線に関する国連科学委員会)等の報告書とその引用文献
- ICRP(国際放射線防護委員会)、WHO(世界保健機関)の公表資料等
- 次の観点から文献を精査
 - 被ばく線量の推定が信頼に足るか
 - 調査研究手法が適切か、等
- 外部被ばくを含む疫学データの援用
 - 食品由来の内部被ばくに限定した疫学データは極めて少なく、外部被ばくを含んだ疫学データも用いて検討

15

個別核種に関する検討

16

検討対象とした核種

- 放射性ヨウ素
- 放射性セシウム
- ウラン
- プルトニウム及び超ウラン元素のα核種(アメリシウム、キュリウム)
- 放射性ストロンチウム

厚生労働省により
暫定規制値が
定められた核種

検討を行った各核種について、ウランを除いて食品
摂取による健康影響に関するデータは乏しかった

17

個別核種に関する検討結果 ①

放射性ヨウ素

チェルノブイリ原子力発電所事故による汚染地域の周辺住民に関する研究

- ^{131}I 被曝による甲状腺がんリスクは被ばく時年齢が低いグループで高い(Zablotska et al. 2011)
- 有意にリスクが上昇する最低被ばく量(甲状腺線量)は0.2 Gy(Cardis et al. 2005)から0.49 Gy(Brenner et al. 2011)
- 全体で1 Gy当たり約2倍の過剰相対リスクがみられる
- 概ね100 mSvを超えるレベルの線量においては、統計学的に有意との報告

あるレベル以下の線量において、過剰相対リスクは、他の要因によるリスクの増加と比較して十分に小さいであろうと言及することは出来ても、発がんリスクを上げない安全な甲状腺線量を推定するには、現状においては、科学的根拠が揃っていないといえない

甲状腺への影響が大きく、甲状腺がんが懸念される物質であり、甲状腺等価線量として100mSvを超える線量においては、統計学的に有意な健康への影響が示された報告を確認できたが、放射性ヨウ素として個別に評価結果を示すに足る情報は得られなかった

18

個別核種に関する検討結果 ②

放射性セシウム

放射性セシウムの終口曝露による動物実験及び疫学研究は少ない

- 動物実験
 - 用量設定が不十分、方法論の面で論文の信頼度が低い
 - 吸収率、終口曝露に伴う生体影響はほとんど説明されていない
 - 疫学研究
 - チェルノブイリ原子力発電所事故によるセシウムの放射性降下物により、スウェーデン人において全がんリスクのわずかな上昇が観察された報告 (Tondel et al. 2006)
- 線量推定における不確実性及び個人レベルの曝露や交絡要因を把握していないという限界

食品中からの放射性物質の検出状況等を勘案すると、現状では、食品からの放射性物質の摂取に関して最も重要な核種と考えられた。しかしながら、個別に評価結果を示すに足る情報は得られなかった

19

個別核種に関する検討結果 ③

プルトニウム、アメリシウム及びキュリウム

- **プルトニウム**
 - プルトニウム施設の労働者に関する疫学調査において、内部被ばくと肺がんに関連があるという報告 (Brown et al. 2005) があるが、プルトニウムの寄与は必ずしも明確ではない
 - リンパ球染色体の異常に対する量反応関係のデータは存在するが評価に足る情報であるとはいえない
- **アメリシウム及びキュリウム**
 - 特に情報が少なく、個別に評価結果を示すに足る情報は得られなかった

特に情報が少なく、個別に評価結果を示すに足る情報は得られず、個別に評価結果は示せないものと判断した

20

個別核種に関する検討結果 ④

放射性ストロンチウム

- 旧ソ連Mayak Production AssociationよりTecha川に流した放射性物質に汚染された流域住民(主に⁹⁰Srの内部被ばくと外部被ばく)のコホート研究からは、固形がん及び白血病(慢性リンパ性白血病を除く)との間に用量反応的なリスクの増加の報告
 - 被ばく線量の評価における不確実性やがん把握におけるバイアスなどの可能性は払拭できないが、最近のテチャ川コホート研究からは、低線量の被ばくにおいてもリスクの増加の指摘
- いずれのデータによっても、個別に評価結果を示すことはできない

個別に評価結果を示すに足る情報は得られず、個別に評価結果は示せないものと判断した

21

個別核種に関する検討結果 ⑤

- **放射性ヨウ素**
 - 甲状腺への影響が大きく、甲状腺がんが懸念される物質であり、甲状腺等価線量として100mSvを超える線量においては、統計学的に有意な健康への影響が示された報告を確認できたが、放射性ヨウ素として個別に評価結果を示すに足る情報は得られなかった
- **放射性セシウム**
 - 食品中からの放射性物質の検出状況等を勘案すると、現状では、食品からの放射性物質の摂取に関して最も重要な核種と考えられた。しかしながら、個別に評価結果を示すに足る情報は得られなかった
- **プルトニウム、アメリシウム及びキュリウム**
 - 特に情報が少なく、個別に評価結果を示すに足る情報は得られず、個別に評価結果は示せないものと判断した
- **放射性ストロンチウム**
 - 個別に評価結果を示すに足る情報は得られず、個別に評価結果は示せないものと判断した

以上のことを踏まえ、低線量放射線の健康への影響に関する検討を行った

22

個別核種に関する検討結果 ⑥

□ ウラン

放射線による影響よりも化学物質としての毒性がより鋭敏に出ると判断されたウランについては、耐容一日摂取量(TDI)を設定

TDI設定根拠試験	ラット91日間飲水投与試験
LOAEL(最小毒性量)	0.06 mg/kg体重/日
LOAEL設定根拠	腎尿細管の変化
不確実係数	300

$$\text{耐容一日摂取量(TDI)} = 0.2 \mu\text{g/kg体重/日}$$

TDIに相当する量のウランを1年間摂取した場合の推定放射線量

体重60kgとした場合、天然のウランの存在度と各同位体の線量換算係数を用いて放射線量を見積もると、実効線量として約0.005mSv/年に相当したが、ウランの毒性は化学物質としての毒性がより鋭敏に出るものと考えられた

23

低線量放射線による健康影響

24

より確かな評価のために

- 動物実験あるいは*in vitro* (試験管内での) 実験の知見よりもヒトにおける知見を優先することとした
- 低線量(※)における影響は、主に発がん性として現れるため、疫学のデータを重視した
※おおむね100～200mSv以下の放射線量
- ヒトにおける知見(疫学データ等)については、核種を問わず、曝露された線量についての情報の信頼度が高いもの、調査・研究手法が適切なものを選択して評価を行った

25

科学的知見(データ)に基づく中立・公正な評価の実施(1) ～累積線量による評価～

- 参照した文献等において、曝露された線量についての情報が1年間当たりの年間線量で示されず、累積線量を用いて取りまとめられていたものが多く存在した
- 参照した文献等において、多くの年間線量値は一定の仮定の下で累積線量から割り出されていた

このため、
根拠となり得る文献において疫学データを累積線量で取りまとめた場合にあつては、それを尊重することとし、累積線量によって健康への影響を検討することが妥当と判断した

26

科学的知見(データ)に基づく中立・公正な評価の実施(2) ～外部被ばくを含む疫学データの使用～

- 本来評価は、食品の摂取に伴う放射性物質による内部被ばくのための健康影響に関する知見に基づいて行うべきであるが、そのような知見は極めて少なく、客観的な評価を科学的に進めるためには外部被ばくを含んだ疫学データをも用いて評価せざるを得なかった
- 累積線量又は年間線量における食品の寄与率を科学的合理性をもって推定できるような文献は見当たらなかった

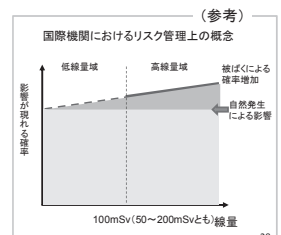
27

科学的知見(データ)に基づく中立・公正な評価の実施(3)

比較的高線量域で得られたデータを一定のモデルにより低線量域に外挿することに関しては、国際機関において、閾値がない直線関係であるとの考え方に基づいてリスク管理上の数値が示されている

モデルの検証は困難

仮説から得られた結果の適用については慎重であるべきであり、実際のヒトへの影響を重視し、根拠の明確な疫学データで言及できる範囲で結論を取りまとめることとした



28

入手し得た文献の整理

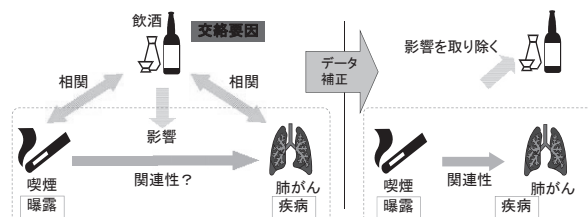
疫学データの種々の制約を十分認識した上で、入手し得た文献について、様々な観点から参考にし得る文献が否かについて整理した

- 研究デザインや対象集団の妥当性
- 統計学的有意差の有無
- 推定曝露量の適切性
- 交絡因子の影響
- 著者による不確実性の言及 等

29

交絡とは(参考)

- ・ 曝露と疾病の関連性が、第三の要因の影響によって過大または過小に評価されてしまう現象をいう
- ・ 例えば、喫煙と肺がんの関連性を調べようとする場合、調べようとする要因(喫煙)以外の要因(飲酒など)ががんの発生率に影響を与えている可能性もある
- ・ このとき、飲酒が交絡要因に該当し、飲酒が調査に影響を与えないように、データを補正する必要がある



出典・食品安全委員会(ビジュアル版用語集)

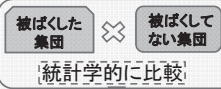
30

食品健康影響評価の基礎となった疫学データ

- インドの自然放射線量が高い(累積線量500 mGy強)地域で発がんリスクの増加がみられなかった報告 (Nair et al. 2009)

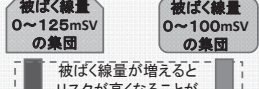
- 広島・長崎の被ばく者における疫学データ

白血病による死亡リスク (Shimizu et al. 1988)



200mGy以上でリスクが上昇
200mGy未満で差はなかった

固形がんによる死亡リスク (Preston et al. 2003)



統計学的に
確かめられた

統計学的に
確かめられず

31

インド、ケララ地方
モナザイトに含まれるトリウムによる自然発生の高放射能地域
(Nair et al., (2009) Background radiation and cancer incidence in Kerala, India-Karunagappally cohort study, Health Phys. 96, 55-66.)

白血病以外のがんの相対リスク

	Cumulative radiation dose (mGy)					
	0-49	50-99	100-199	200-499	500+	P value for trend
Mean dose	36	74	141	283	628	
RR	1	0.97	1.02	0.93	0.95	>0.5

Table 4より必要部分を表示。

白血病の相対リスク

	Cumulative radiation dose (mGy)					
	0-49	50-99	100-199	200+		P value for trend
RR	1	0.80	1.60	1.43		0.288

Table 6より必要部分を表示。

32

Excess Relative Risk Estimates for Selected Dose Range

Dose	ERR/Sv (SE)*	P value**
0-0.05	0.93 (0.85)	0.15
0-0.1	0.64 (0.55)	0.30
0-0.125	0.74 (0.38)	0.025
0-0.15	0.56 (0.32)	0.045
0-0.2	0.76 (0.29)	0.003
0-0.5	0.44 (0.12)	<0.001
0-1	0.47 (0.10)	<0.001
0-2	0.54 (0.07)	<0.001
0-4	0.47 (0.05)	<0.001

Studies of Mortality of Atomic Bomb Survivors. Report 13: Solid Cancer and Noncancer Disease Mortality: 1950-1997
Dale L. Preston, Yukiko Shimizu, Donald A. Pierce, Akihiko Suyama, and Kiyohiko Mabuchi
Radiation Research, 160(4):381-407, 2003.

33

0 Gy群と比較した場合のがん死亡の推定相対リスク

(Shimizu et al. (1988) Life Span Study Report 11 Part 2. Cancer Mortality In The Years 1950-85 Based On The Recently Revised Doses (DS86). Technical Report RERF TR 5-88. Radiation Effects Research Foundation.)

A) Shielded kerma

Site of cancer	Shielded kerma (Gy)						
	.01-.05	.06-.09	.10-.19	.20-.49	.50-.99	1.0-1.9	2.0+
Leukemia	1.14 (.08, 1.62)	.25 (.06, .68)	1.27 (.74, 2.08)	1.59 (1.03, 2.42)	2.79 (1.77, 4.30)	6.09 (4.02, 9.16)	16.84 (11.52, 24.60)
All cancers except leukemia	1.03 (.97, 1.09)	1.09 (.99, 1.20)	1.07 (.98, 1.17)	1.10 (1.02, 1.19)	1.21 (1.09, 1.33)	1.50 (1.34, 1.69)	1.97 (1.69, 2.28)

B) Organ-absorbed dose

Site of cancer	Organ-absorbed dose (Gy)						
	.01-.05	.06-.09	.10-.19	.20-.49	.50-.99	1.0-1.9	2.0+
Leukemia	.99 (.68, 1.40)	.61 (.25, 1.22)	1.08 (.61, 1.82)	1.79 (1.18, 2.68)	4.15 (2.76, 6.19)	8.01 (5.34, 11.94)	18.57 (12.05, 28.20)
All cancers except leukemia	1.06 (1.0, 1.12)	1.08 (.98, 1.19)	1.06 (.97, 1.16)	1.12 (1.03, 1.21)	1.36 (1.23, 1.51)	1.66 (1.45, 1.90)	2.05 (1.66, 2.50)

括弧内の数値は90%信頼区間を示す。
下線を引いた太字の数値は5%水準で有意である。

34

食品健康影響評価の参考とした小児、胎児に関する疫学データ

- チェルノブイリ原子力発電所事故に関連した報告
- 5歳未満であった小児に白血病のリスクの増加 (Noshchenko et al. 2010)
- 被ばく時の年齢が低いほど甲状腺がんのリスクが高い (Zablotska et al. 2011)

《ただし、どちらも線量の推定等に不明確な点があった》

- 胎児への影響
- 1 Gy以上の被ばくにより精神遅滞がみられたが、0.5 Gy以下の線量で健康影響が認められなかった (UNSCEAR 1993)

35

食品健康影響評価の結果の概要 (平成23年10月27日 食品安全委員会)

- 放射線による影響が見いだされているのは、生涯における追加の累積線量が、おおよそ100 mSv以上(通常の一般生活で受ける放射線量(自然放射線や医療被ばくなど)を除く)

- そのうち、小児の期間については、感受性が成人より高い可能性(甲状腺がんや白血病)がある

- 100mSv未満の健康影響について言及することは困難と判断

☐ 曝露量の推定の不正確さ
☐ 放射線以外の様々な影響と明確に区別できない可能性
☐ 根拠となる疫学データの対象集団の規模が小さい

36

低線量放射線による食品健康影響評価の結果

「おおよそ100mSv」は、

- 1) 健康影響が必ず出るという値ではなく、また、健康影響がでる・でないの境界(閾値)の値でもない
- 2) その値未満での健康影響は
 - ☐ 曝露量の推定の不正確さ
 - ☐ 放射線以外の様々な影響と明確に区別できない可能性
 - ☐ 根拠となる疫学データの対象集団の規模が小さい
 などのために健康影響は証明できず、言及は困難
- 3) あくまで食品のみから追加的な被ばくを受けたことを前提
内部被ばくと外部被ばくを合計したリスクの評価をしたものではない
- 4) 食品からの放射性物質の検出状況、日本人の食品摂取の実態等を踏まえて、リスク管理機関が考慮すべき値
- 5) 行政上の規制値ではなく、放射性物質を含む食品摂取に関するモニタリングデータに基づく追加的な実際の被ばく量に適用すべき値

37

(参考)

食品中の放射性物質の基準値

放射性セシウムの暫定規制値※1

食品群	規制値 (Bq/kg)
飲料水	200
牛乳・乳製品	200
野菜類	500
穀類	
肉・卵・魚・その他	

※1 放射性ストロンチウムを含めて規制値を設定

放射性セシウムの基準値※2

食品群	規制値 (Bq/kg)
飲料水	10
牛乳	50
一般食品	100
乳児用食品	50

※2 放射性ストロンチウム、プルトニウム等を含めて基準値を設定

38