

<総説>

飲料水中の放射性物質に関する国内外の指標

山口一郎¹⁾, 浅見真理¹⁾, 寺田宙¹⁾, 志村勉¹⁾, 杉山英男¹⁾, 櫻田尚樹²⁾

¹⁾ 国立保健医療科学院生活環境研究部

²⁾ 産業医科大学産業保健学部

Japanese and international criteria for radioactive materials
in drinking water

YAMAGUCHI Ichiro¹⁾, ASAMI Mari¹⁾, TERADA Hiroshi¹⁾,
SHIMURA Tsutomu¹⁾, SUGIYAMA Hideo¹⁾, KUNUGITA Naoki²⁾

¹⁾ Department of Environmental Health, National Institute of Public Health

²⁾ School of Health Sciences, University of Occupational and Environmental Health

抄録

原子力災害は社会に対して広範なリスク管理を求める事態をもたらす。このリスク管理において混乱も生じた。このうち飲料水の安全は生活の根幹を支えるものであり、明確な説明が求められる。そこで、飲料水中の放射性物質に関する国内外の指標について根拠となる考え方の整理を試みた。緊急時及び平常時について、国内の各種指標と国外の指標（国際機関、欧州連合、米国）について検討を行った。東日本大震災時に発生した原子力発電所事故後に日本で用いられた指標は、国際的な考え方に基づき導入された。それぞれの指標値は、その性格や前提が異なり、値だけを比較することは適切ではなく、それぞれの指標の根拠を踏まえることが重要である。

キーワード：飲料水、放射性物質、指標、原子力事故、国際機関

Abstract

Fukushima dai-ichi nuclear accident required extensive risk management among society. This risk management was not easy and caused social confusion. Of these, the safety of drinking water is the basis of life and requires a clear explanation of facts. Therefore, Japanese criteria on concentration of radioactive substances in drinking water were discussed with regards to ones in other countries and international ones. The methodology employed in Japan for deriving the concentrations for the countermeasure against the Fukushima nuclear accident were based on international guidelines.

The derived criteria have their own characteristics and specific background so that it is not appropriate to compare numerical values only in each criterion.

keywords: drinking water, radioactive substance, criteria, nuclear accident, international organizations

(accepted for publication, October 14, 2020)

連絡先：山口一郎

〒351-0197埼玉県和光市南2-3-6

2-3-6 Minami, Wako, Saitama 351-0197, Japan.

Fax : 048-458-6270 (生活環境研究部)

E-mail: yamaguchi.i.aa@niph.go.jp

[令和2年10月14日受理]

I. はじめに

2011年の東日本大震災時に日本で発生した原子力発電所事故は国内の生活に甚大な影響を与え、飲料水の供給にも影響を与えた。

原子力災害は社会に対して広範なリスク管理を求める事態をもたらす。放射性物質が環境中に放出され広範囲に拡散したことから、事故対応は早期から多岐にわたった[1]。避難の誘導、ご遺体の取り扱い、食品や環境などで用いる指標値も多岐にわたり、放射線防護の基本的な考え方が政府から示され(図1)、学会からも解説がなされたが[2]、混乱も生じた。飲食物の安全は生活の根幹を支えるものであり、明確な説明が求められる。

そこで、本稿では、放射線安全の観点から、飲料水中に含まれる放射性物質の濃度に関して管理が試みられている例を対象に、緊急時及び平常時について、国内の各種指標、国外の指標として、国際機関、欧州連合、米国で設定されているその指標値について根拠となる考え方を整理し解説を試みる。

なお、ここでは、水道法上の水道水と食品衛生法上のボトル水の双方について、その違いも踏まえて考察を行う。

また、本文中での単位は、「重量あたり (kg)」と「容量あたり (L)」が混在しているが、原則として原文の表現を用いている。国内においても、飲料水の評価においては、両者を同等と扱うこととしている。

II. 飲料水中の放射性物質によりもたらされる放射線リスクと水道水の放射性物質の濃度の現状

1. 飲料水中の放射性物質によりもたらされるリスク

放射性物質から放出される放射線への曝露には、身体の外からの被ばくと放射性物質を経口摂取した場合の内部被ばくがある。放射性物質の経口摂取は食品や飲料水などの摂取によるものを指す。その他の内部被ばくとして吸入経路がある。飲料水が家畜などにも供給されている場合は、食品を介した放射線曝露を与えることにもなる。なお、飲料水に対しては世界保健機関(WHO)では自然放射性物質に対してもガイダンスレベルを示している[3]。また、国際原子力機関(IAEA)では線量評価に利用できるように、飲料水中の自然放射性物質濃度の参照値を提供している(表1)[4]。

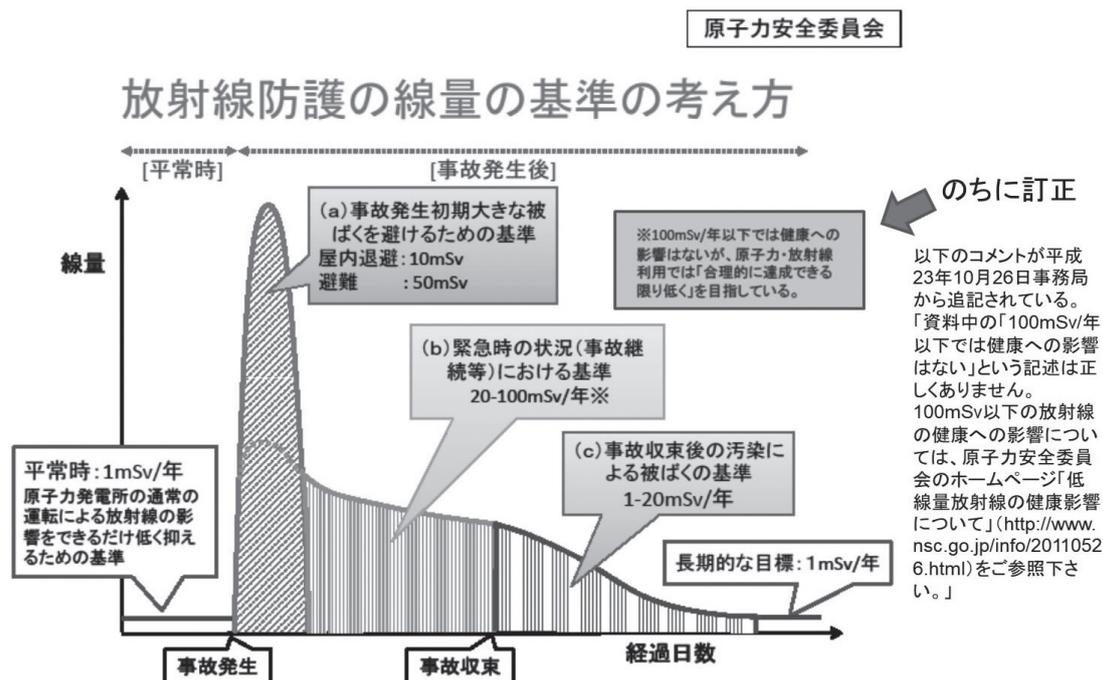


図1 事故発生後の放射線防護の線量の基準の考え方

表1 国際原子力機関(IAEA)による線量評価のための飲料水中の自然放射性物質濃度の参照値

核種	U-238	Th-230	Ra-226	Pb-210	Po-210	Th-232	Ra-228	Th-228	U-235
参照値 [mBq/kg]	1	0.1	0.5	10	5	0.05	0.5	0.05	0.04

出典: IAEA TECDOC-1788 (2016) の表8

2. 東京電力福島第一原子力発電所（以下原子力発電所）事故の影響

事故当初の状況は、浅見がまとめている[5]。事故から8年経過した2019年12月の時点で、水道水に含まれる放射性セシウムの濃度は公表されている47都道府県中で2016年6月発表以降では、もっとも濃度が高い東京都においても基準値（管理目標値: 10 Bq/L）の千分の1未満のレベルとなっているが、原子力発電所事故で放出された核種の半減期も考慮し、継続的に調査がなされている。

3. 過去の大気圏核実験とチェルノブイリ事故の影響

全国の蛇口水から0.1 mBq/kg程度の放射性ストロンチウムが2010年以前においても検出されている[6]。この放射性ストロンチウムは、2011年の原子力発電所事故前の大気圏核実験やチェルノブイリ原子力発電所事故でのフォールアウトによるものであり2000～2008年においても、蛇口水中から数ミリBq/L程度検出されていた。

4. 複数の要因による影響

環境中に放出された放射性核種は、飲料水を介して人体に摂取されうるが、このような核種として、トリチウムや放射性炭素14（C-14）が環境中から検出されている。これらは宇宙線により生成される自然由来のもの、C-14を取り扱っている事業所からの計画放出によるもの、過去の大気圏核実験によるものがある。そのレベルはトリチウムで水道水中の濃度として数Bq/kgでありC-14は2011年の観測では、大気中では炭素1gあたりの量として0.2 Bq/g-C程度存在していることが確認されている[7]。C-14の大気中の量は大気圏核実験により倍程度に増加したが、二酸化炭素として植物に取り込まれたり、海水に溶けたりするだけでなく、化石燃料を用いることで同位体希釈が生じることから低下してきている[8]。

この他、自然放射性核種が環境試料から検出されることがある。このうち、ウラン・トリウム系列は、地下水で比較的高い濃度となることがある。一方、冬の北海道では凍結により土壌からの移行が低減するので濃度が低くなる[9]。これらは壊変系列となっており、壊変系列を構成する元素はそれぞれ物理的な性質が異なっているので、密封して測るなどしないとそれぞれの核種が適切に評価できない。なぜなら密封していないと、測定までの保管中や測定中に壊変系列中の気体状の核種が試料から失われている可能性があるからである。また、その線量評価では、壊変系列となっていることを考慮し、それぞれの核種の壊変によるエネルギー付与を考慮する必要がある。子孫核種を持つ核種の実効線量係数は暗黙の子孫核種を考慮している場合とそうでない場合で値が異なる。さらに、飲料水中に含まれる自然放射性物質による放射線曝露としてはラドンの吸入が線量として支配的になる[10]。

この他、事業所からの計画放出に由来したものもあるが、事故などがない限りは、それによる公衆などへの曝

露は制御されている。事業所から計画放出される放射性核種のモニタリングの課題は後述する。

III. それぞれの指標値の性格の違い

1. 被ばく状況の違い

放射線安全で用いる指標は、被ばく状況に依存したものとされており、置かれている状況に応じてそれぞれ異なる放射線防護の状況を適用させている。これらの被ばく状況は、日本も加盟国としてその策定に関わった国際原子力機関（IAEA）の一般安全要件（GSR）part 3において計画被ばく状況、緊急被ばく状況、現存被ばく状況に分けられている[11]。このうち計画被ばく状況は事業所等からの計画的な放出に基づく被ばくである。緊急被ばく状況は事故によりもたらされたものである。現存被ばく状況はその事故後の回復期と自然放射性物質によるものが含まれる。

2. 飲料水の供給形態や使用用途の違い

飲料水は供給される形態により、法律上の位置づけが異なることがある。例えば日本では、導管により供給される水道法上の水道水とボトルに入れて供給される食品衛生法上のボトル水の違いがあり、食品規格委員会（Codex Alimentarius Commission: CAC, コーデックス）でも供給形態により扱いを変えている[12]。これらの間では環境汚染の影響の受けやすさや管理の手法の違いにより、制御の可能性が異なる。また用途も異なるため、用いる指標値、基となる考え方が異なることに留意する必要がある。なお、水道水は飲料に供する以外の目的もあり、その観点からも供給停止措置などを検討する必要がある。

2011年の事故後には、飲用以外の利用として、入浴や手洗いで水道水を利用することによるリスクや水道水中の放射性物質の曝露として吸入も考慮した線量推計結果が情報提供された[13]。

3. 指標の性格の違い

さらに、指標の意味合いが異なることがある。すなわち、その値を超えた場合に流通や供給を停止する指標値か、あるいは、何らかの対策を検討する契機となる指標値かなどの違いがある。食品衛生法上の規格基準は、それを超えることを容認していない。しかし、水道水は、リスク管理の考え方にに基づき、それを超えたら給水停止を行う「基準」ではなく、リスク低減措置を体系的に講ずることを想定し、「管理目標」としており、食品での行政処分を伴う基準値とは扱いが異なっている。ただし、水質管理目標設定項目とは扱いが異なっている。

IV. 緊急被ばく状況における飲料水の指標値

1. 国際機関における飲料水の指標値

1)IAEAによる全β放射能に対するスクリーニング・クライテリア (OIL5)

IAEAは緊急時も含む包括的な放射線防護に関する一般的な安全要求事項としてGSR Part 7[14] や緊急時での対応の対処方針として一般安全ガイドGSG-2[15]を発行している。これらには緊急時の飲料水の供給に関するクライテリアも示されている。これらのクライテリアの策定には各国際機関も共同で関わっており、各国政府に対して飲料水も含めて緊急時の対応について準備することを求めている。

GSR Part 7では、飲料水の消費の制限に関して予測線量における一般的なクライテリアが記述されている。これらのクライテリアに基づき直接計測することが可能な運用上のレベルが誘導されており、そのレベルを用いることで緊急時に迅速に制限を設けることができることになる。このレベルでは、全βに対して100 Bq/kgとしている。全βとはβ線のエネルギーを特に弁別せず、検出

器に到達し、そこでエネルギーを失うあらゆるものを計数するという意味である。緊急時には簡易な測定が求められるが、飲料水試料を蒸発乾固し、β線を計測する方法は、比較的、安価に行うことができるので全βでの計数率が運用上の介入レベルとして用いられている。

2)IAEAによる核種毎に与えられたスクリーニング・クライテリア (OIL6)

IAEAは緊急時に飲料水に適用するクライテリアとしてGSG-2において357の種類放射性核種に対して運用上の介入レベル (Operational Intervention Level ; OIL) 6を提示している (表2)。このクライテリアを用いても、必要な場合に飲料水の摂取が制限できる。OIL6は、食品や飲料水の摂取による年間の放射線曝露量を包括的判別基準 (Generic Criteria : GC) として、もっとも放射線に曝露する人でも実効線量として10 mSv 未満にすることを目指している。なお、複数の核種に対するOIL6の適用は、それぞれの指標値との比の和が1を超えないようにすることが想定されている。

3)WHOによる説明資料

WHOでは日本政府の2011年の原子力災害に対する対

表2 IAEAが提示している緊急時に飲料水に適用するクライテリア[Bq/kg]

核種	I-131	I-132	I-133	I-134	I-135	Cs-134	Cs-137
濃度	3×10^3	2×10^7	1×10^5	2×10^8	2×10^6	1×10^3	2×10^3

出典 : IAEA Safety Standards Series No. GSG-2 Criteria for Use in Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency (2011) の表10

表3 WHOが提示したI-131に関する国内での飲料水の摂取制限の指標値と国際的な指標値との比較

ガイドラインの名称	放射性物質の飲料水中の助言される最大濃度(Bq/L)	その濃度の飲料水を摂取し続けた場合の最初の1年間で与えられる予測預託線量と等価になる放射線曝露 ⁽¹⁾
WHOの飲料水の水質ガイドライン ⁽²⁾	10	ニューヨークからロンドンへのフライト (0.1 mSvの線量から誘導されている)
日本の (緊急時に対する) 暫定規制値 (乳幼児) ⁽³⁾	100	年間の自然のバックグラウンド線量や10から15回の胸部X線検査 ^(*) (甲状腺等価線量 50mSvから物理的な減衰を考慮して誘導されている)
日本の (緊急時に対する) 暫定規制値 (成人)	300	
IAEA 原子力緊急時の運用上の介入レベル ⁽⁴⁾	3,000	年間の線量は想定されていない。このレベルは、緊急時の初期において何らかの対策を講じるかどうかのトリガーとして使われる。

出典 : WHO. FAQs: Japan nuclear concerns. (2011)

(*)日本での胸部X線検査によると線量は実効線量で表現するとおよそ0.06 mSvとされているので、80回程度に相当することになる。甲状腺の等価線量としての50mSvは実効線量としては2.5mSvに相当していた (ICRP 2007年勧告以降は、甲状腺に対する組織加重係数が0.05から0.04になったので、2mSv)。一方、UNSCEAR 2008年報告では、年間の自然放射線による曝露量の世界平均は2.4mSvとされていた。また、UNSCEAR 2008年報告では胸部X線検査の一回あたりの実効線量はヘルスケアのレベルに応じて0.14から0.2mSvとされている。

(1)I-131以外の核種も含んだ線量が想定されている。

(2)WHOの飲料水の水質ガイドラインは、原子力緊急時の参考値として用いるべきではない。何故なら、提示しているガイドライン値は極めて保守的であり、生涯にわたる日常的な飲料水の摂取を想定しているからである。

(3)日本の原子力安全委員会に提示された指標値が、日本の食品衛生法上の規制値として定められている。この基準値は、予防的に定められており、IAEAやICRPなどによる国際的なガイダンスも考慮されている。この指標値は、乳児用の食品の原料となる水にも適用できる。この濃度は、コーデックスの乳幼児用の食品と同じレベルとなっている。このレベルは、国際的な貿易を扱うことから、事故がおきた国からの食品の輸入が想定されており、日常的に摂取する食品の一角が事故の影響を受けているとの想定になっている。また、物理的な減衰を考慮せず、年間を通じた摂取が想定されている。

(4)IAEA Safety Guide GSG-2は、運用上の介入レベルを定めており、このレベルは、緊急時の初期の対応の国際的な取り決めとなるものである。

応を解説する資料を作成し、そこで比較表を掲載している(表3) [16]。この解説資料では日本政府の対応が国際的な考え方にも従っていることや指標値を比較する際の注意事項が説明されている。なお、2011(平成23)年事故当時に国内の会議資料で提出されたWHO飲料水水質ガイドラインの第3版の日本語訳において「正確率係数」という用語が用いられていたが、原文は「the nominal probability coefficient」であり、「名目確率係数」を指すと考えられ、年間の摂取による生涯の影響を計算するための数値が記載されていた。その後翻訳された同ガイドライン第4版では、年間の摂取による影響が年間の値として記載されているが、生涯の影響を示したものと考えられた。

2. 国内での飲料水の指標値

1) 2011年の事故直後に示された指標値

緊急被ばく状況に相当すると考えられる事故直後に厚生労働省から健水発0319第1号において示された飲料水の摂取制限の指標値を表4に示す。この指標値は、「飲食物摂取制限に関する指標」として提示されたものであり原子力災害特措法上の措置に基づき、食品衛生法第6条第2号を根拠として設けられたものである。

緊急被ばく状況への対応に関して、原子力安全委員会(当時)が1998年3月に「飲食物摂取制限に関する指標」を提示していた。この指標は、今後、起こるかもしれない原子力発電所等事故を想定し、その事故直後の緊急被ばく状況に対応するため、飲食品中の放射性物質の摂取に由来した甲状腺等価線量が年間50mSv、実効線量が年間5mSvを超えないように設定されていた。放射性ヨウ素群、放射性セシウム及び放射性ストロンチウムの誘導式を式1として示す。2011年に発生した原子力発電所事故後に設定された暫定規制値はこの指標が用いられた。

$$DIL_{kj} = \frac{ILD/G}{F \times W_{kj} \times \sum_i S_{ij} \times f_i \times \{1 - \exp(-\lambda_i t_0)\} / \lambda_i} \quad (1)$$

DIL_{kj} : 飲食物の種類(食品グループ)kに対する年齢グループjの誘導介入濃度(Bq/kgまたはBq/L)。食

表4 国内での飲料水の摂取制限の指標値

核種	濃度
放射性ヨウ素 ^{注)}	300 Bq/kg
放射性セシウム	200 Bq/kg

出典: 健水発0319第1号 2011(平成23)年3月19日

注) 放射性ヨウ素では、乳幼児に対して、「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。」とされていたことから、それに準じて、「水道水の放射性ヨウ素が100Bq/kgを超える場合には、当該水を供する水道事業者等は、乳児用調製粉乳を水道水で溶かして乳児に与える等、乳児による水道水の摂取を控えるよう広報するよう地方自治体に技術的な助言(地方自治法(昭和22年法律第67号)に規定する技術的助言)を行っている(健水発0321第1号 2011年3月21日)。

品群k中の放射能濃度で表す。

ILD: 介入線量レベル

Cs及びSrの同位体に対して、1年について実効線量5mSv

ヨウ素の同位体及びTe-132に対して、甲状腺等価線量50mSv×2/3(残り1/3は保留分)の年間線量(年間の経口摂取による線量)

G: 食品群に汚染がまたがる場合のDIL低減比(グループの数に応じて均等に線量を分配)

Cs及びSrの同位体に対して、G=5

ヨウ素の同位体及びTe-132に対するものは、G=3

F: 年平均濃度とピーク濃度との比、原典では付録4参照とあり説明が補われている。

Cs, Sr(すなわちヨウ素以外)の同位体に対して、F=0.5をとる。

ヨウ素の同位体及びTe-132に対するものは、F=1をとる。

S_{ij} : 放射性核種iを1Bq摂取した場合の年齢グループjの預託線量(mSv/Bq)、ただし、

Cs, Sr(すなわちヨウ素以外)の同位体に対しては預託実効線量

ヨウ素の同位体及びTe-132に対しては、預託甲状腺等価線量

W_{kj} : 年齢グループjによる食品群kの一日当たり摂取量(kg/d)

t_0 : 飲食品の摂取期間(365d)

λ_i : 核種iの崩壊定数(d⁻¹)

f_i : 代表核種または核種群に対する核種iの初期存在比率

2011年に発生した事故後の設けられた指標値の現存被ばく状況に対応した見直しにおいて、2013年2月の原子力災害対策指針改定で防護措置の実施の判断基準(OIL: 運用上の介入レベル)が設定されている。このうちOIL6は、経口摂取による放射線曝露を制御するため、飲食物の摂取を制限する際の基準値である。日本で定められているOILは、IAEAのGSG-2とも同じであり、この一般安全ガイドでは緊急時に飲料水に適用するクライテリアであると記述されている。

その後に策定されたIAEA技術文書(2017) [17]では、緊急時の対応では利用可能な社会資源など様々な限界もあることから、できるだけ迅速に防護措置を講ずることを目指し、代表核種として選択したI-131とCs-137の指標値としてOIL6に加えて新たにOIL7を設定している。事故から一年間の預託実効線量が代表的個人に対して10mSvとしているのはOIL6と同様である。国内のOIL6では線量指標として甲状腺等価線量は50mSv/年、実効線量は5mSv/年を用い、飲料水、牛乳・乳製品の食品区分では放射性ヨウ素に対し300Bq/kg、放射性セシウム2,000Bq/kgと設定していたのを、OIL7ではI-131に対して1,000Bq/kg、Cs-137に対して200Bq/kgの指標値が与えられておりOIL6でI-131が3,000Bq/kg、Cs-137が2,000Bq/kg

kgと設定されていたのよりも安全側の値が選択されている。

ここでの飲料水では以下に示すように水道水も想定されている。すなわち、2011年3月17日医薬食品局安全部長通知、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」において、「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。」と記述されている。また、2011年3月19日 - 健康局水道課長通知、健水発0319第1号「福島第一・第二原子力発電所の事故に伴う水道の対応について」では、指標を超過した場合の水道の対応として、以下の3つの見解が示された。1.指標を超えるものは飲用を控えること 2.生活用水としての利用には問題がないこと 3.代替となる飲用水がない場合は、飲用しても差し支えないこと。さらに、放射性物質の浄水処理性については、活性炭処理による除去効果を示す知見が存在するため、粉末活性炭による処理の実施を検討することも示された。この他、2011年3月21日 - 健康局水道課長通知、健水発0321第1号「乳児による水道水の摂取に係る対応について」では、「水道水の放射性ヨウ素が100 Bq/kgを超える場合には、当該水を供する水道事業者等は、乳児用調製粉乳を水道水で溶かして乳児に与える等、乳児による水道水の摂取を控えるよう広報すること」が示された。これは、食品衛生法に基づく暫定規制値においては、放射性ヨウ素が100Bq/kgを超えるものは、乳児用調製粉乳および直接飲用に供する乳に供用しないよう指導することとされているため、乳児用調製粉乳を溶かすために使用する水道水にも同じ暫定規制値である100Bq/kgを指標値として適用するというものである。

なお、全β放射能は歴史のある計測法であり[18]、時代とともに変遷しているが、日本では比較的、計測機器に恵まれていたこと、ヨウ素が揮発性であり、全β放射能の分析方法では精度の確保が困難であったことなどから、事故時は日本放射線安全管理学会の研究者らの協力を得て主にγ線スペクトロメトリが水道水の検査に用いられ、全β放射能に対するスクリーニング・クライテリアが用いられることはなかった[19]。ただし、大学等では行政検査の経験を有していなかったこともあり、国立保健医療科学院の標準試料を用いた検出器の光子のエネルギー別の検出効率などの検証が必要となった。このため学会の協力を得た計測開始は2011年4月4日からとなった[20]。一方、各自治体では旧科学技術庁による「環境放射線モニタリング」による全都道府県への委託調査が事故前から行われており、自治体による地域での食品等の測定が事故当初から行われていたが、「環境放射線モニタリング」関連で整備された機器で食品等の分析を実施することに対して整備された機器の目的外利用を避けるべきではないかとの解釈が文部科学省の当時の担当官から示されたこともあり、多数の試料が測定できない限界があった。

2) 乳幼児への配慮

食品衛生法に基づく通知(2011年3月17日発出)において、乳児に配慮して提示された牛乳・乳製品に対するI-131の指標値である100Bq/kgはコーデックス標準 193-1995[21]の乳児用食品に対するSr-90, Ru-106, I-129, I-131, U-235に対するものとして、100Bq/kgが定められたと考えられる。当時の通知には経緯についての記述はないが、2011年4月4日に開催された薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会では事務局から説明されるとともにQ&A資料ではコーデックスの値として表示されている[22]。ただし、この記述例では海外との比較の論理や事実関係の記述(核種の記述において「I-129とI-131」をI-119と誤記)が必ずしも適切ではないように見受けられる。いずれにしても、このガイドラインレベルは年間摂取での預託実効線量1mSvを介入免除レベルとしていることに基づいている。暫定規制値の放射性ヨウ素 300Bq/kgでは乳児も考慮しているが、100Bq/kgと示された指標値との違いは、参考レベルとシナリオのそれぞれ違いによると考えられる。「飲食物摂取制限に関する指標(1988年)」の300Bq/kgとコーデックスの乳児用食品の100Bq/kgを比べると後者の方が濃度は小さいが、適用する状況が国内の暫定規制値は国内での原子力事故を受けて緊急時の対応として設定されたため参考レベルが預託甲状腺等価線量として50mSvとされたのに対して、コーデックスの指標値は事故が起きた国から食品を輸入することが想定されており参考レベルが実効線量として1mSvとされており、単純に比較することは適切ではないとも考えられる。

3) 飲料水の摂取に関連した放射線安全以外のリスク情報の提示

放射線防護策を講じる際のトレードオフとなり得る、放射線安全以外のリスク情報も日本小児科学会、日本周産期・新生児医学会、日本未熟児新生児学会の共同見解として提示された。この共同見解「食品衛生法に基づく乳児の飲用に関する暫定的な指標値100Bq/kgを超過する濃度の放射性ヨウ素が測定された水道水摂取」は、水道水を使用しない場合での硬水を乳児が摂取することを想定し、乳児の臓器への負担に関して注意喚起をしていた[23]。硬水とは、一般的に硬度300mg/Lを超える水で、特に海外の天然ミネラルウォーター類は硬度の高いものがあり、通常においても留意が必要である。

4) 食品衛生法と水道法での指標の違い

ペットボトル水と水道水との指標の違いに着目し、水道水の方が安全と説明されることがある。しかし、時代とともに規制が変化しており、2014年末の改正によりペットボトル水の化学物質等の成分規格に関する指標値は、水道水とほぼ同じになっている[24]。ミネラルウォーター類は、水のみを原料としていることから、その製造において殺菌又は除菌以外の処理を行わないものがほとんどであるため、従来なされていた原水基準と成分規格の双方による規制は、必ずしも必要ではなく、後者の成分規格のみにより規制することが合理的であると考えら

飲料水中の放射性物質に関する国内外の指標

れることになり、規制の内容の見直しがなされた。その際に、水道法で規定される水質基準等（水質管理目標設定項目を含む）と項目や値が異なる場合があったため、コーデックス委員会における天然ミネラルウォーター等の規格の設定及び我が国の水道法の水質基準改正の動きを受け、食品衛生法第11条第1項に基づき、乳及び乳製品の成分規格等に関する省令及び告示の一部が改められ、健康影響に関連する水道の水質基準等とほぼ同様の項目及び値となった。

3. 欧州連合での飲料水の指標値

欧州議会・理事会規則（欧州原子力共同体）2016/52でCs-134やCs-137のような半減期が10日以上の特徴の合計として液体食品（Liquid food）に対して、最大許容濃度として1,000Bq/Lが設定されている。この濃度は、水道水の経口摂取を考慮して計算されているが、各加盟国が水道水以外の飲料水にも同じ値を用いる裁量を与えられており、各国で欧州連合における指令を参考に判断するとされている。

ここで与えられている最大許容濃度は、原子力施設の事故などを想定して、欧州連合内や欧州連合外からの輸入された液体食品を含む食品や飼料に適用させることが想定されており、自国内での事故を想定したものではなく、その考え方は欧州委員会のRadiation Protection Publication 105[25]で詳しく記述されている。基準となる線量は実効線量として年間1 mSvが想定され、摂取する食品の10%が事故の影響を受けている仮定に基づいている。1歳以下の乳幼児に対しては特別に配慮され、生後6か月間の乳児の食事は変動が大きく、生後6か月からの6か月間での代謝の不確実性があることも考慮し、安全側に誘導した濃度を生後1年までの間は適用することとしている。

4. 米国での飲料水の指標値

米国では、国内での放射線事故への緊急時対応として、放射線リスクの感受性を考慮し妊婦、授乳中の女性と15歳以下の子供と、一般公衆に分けて指標値を示している（表5）。誘導の根拠となった線量は、予測線量としての放射線防護行動ガイド（protective action guides）として提示されている実効線量が用いられ、妊婦、授乳中の女性と15歳以下の子供では1mSv、成人では5mSvが設定されている。この指標値は、介入検討レベルとして位

置づけられている。成人に対する設定は緊急時を想定したものととしては日本と同じであるが、妊婦、授乳中の女性と15歳以下の子供に対しては、米国は放射線防護に関してより慎重な対応となっている。

ここで示されている指標は放射線緊急時のみに適用されることが想定されており、それを越えそうな場合に、公衆の安全を確保するために放射線曝露量を最小化し、放射線曝露を防止するための対策が講じられることになる。このため、示された指標値は健康の観点から、行政の対応として住民を避難させるかどうか、屋内退避するか、食品や飲料水の摂取に関して何らかの注意を与えるか、その他の迅速な策を講じるかの転換点になるとされている[26]。

V. 事故の影響を受けた現存被ばく状況での飲料水の指標値

1. 国際機関における飲料水の指標値

WHO飲料水水質ガイドラインでは、非緊急状況に対して、対策の必要性を検討する調査の契機として値の一覧表を示している（表6）[3]。これらの値は、実効線量として0.1mSvの放射線曝露をもたらす濃度として誘導されており、汚染原因を調べるための何らかの調査の契機として核種毎の濃度の目安を示しているものである。なお、WHOではこのガイドラインを補助するものとして、解説資料を発行している[27]。

IAEA TECDOC-1788では、CODEX STAN 108-1981のドラフトから、『自然由来の放射性物質は周辺環境に豊富にあり、全ての食品に様々な濃度で含まれる。これらの食品の摂取による放射線量は年間の摂取で数十～数百mSvになる。このような食品に含まれる放射性物質からの放射線量は、健康影響に関して介入で得られる効果を考えると、費用対効果が成り立たないために、現実的に制御することができない。従って、緊急事態に関係する以外は、これらの自然放射性核種はこの文書では考慮の対象外としている』と引用している。

2. 日本

1) 設定対象核種と基準値

飲料水を含む食品中の成分について、販売の用に供する食品に関して基準や規格を厚生労働大臣が定めることができると規定されている。このことから食品衛生法

表5 米国での緊急時の飲料水の指標値（放射線防護行動ガイド値から誘導された濃度レベル）

	妊婦、授乳中の女性と15歳以下の子供に対して与えられている放射線防護行動ガイド値（実効線量1mSv）から誘導された濃度レベル	その他の成人に対して与えられている放射線防護行動ガイド値（実効線量5mSv）から誘導された濃度レベル
Sr-90/Y-90	1,000 pCi/L (3.7×10 Bq/L)	7,400 pCi/L (2.7×10 ² Bq/L)
Cs-137	6,200 pCi/L (2.3×10 ² Bq/L)	17,000 pCi/L (6.3×10 ² Bq/L)
I-131	820 pCi/L (3.0×10 Bq/L)	10,000 pCi/L (3.7×10 ² Bq/L)

出典：米国EPA. PAG Manual: Protective Action Guides and Planning Guidance for Radiological Incidents. (2017)

表6 一般的な放射性核種に対する飲料水中のWHOのガイドラインレベル(2011)

放射性核種ガイダンスレベル	(Bq/L)
H-3	10,000
C-14	100
Sr-90, I-131, Cs-134, Cs-137, U-238*	10
Ra-226, Th-228, Th-230, Th-232, U-234*, Pu-239, Am-241	1
Pb-210, Po-210, Ra-228	0.1

出典：WHO. Table 9.2 in chapter 9 of Guidelines for drinking-water quality. (2011)

* ウランは通常化学毒性からコントロールされている。WHOのガイドラインレベルはウランの総量として30 µg/Lであり、U-238あるいはU-234に対して0.37 Bq/Lとなる。

複数の核種がある場合には、それぞれのガイドラインレベルとの比の和が1を超えているかどうかを確認することになる。

第11条第1項(当時)に基づき食品中の放射性物質の規格基準が新たに設定され、2012年4月1日に施行された。水道水中の放射性物質に係る指標を見直して新たな目標を設定するとともに、モニタリング方法及び目標値超過時の措置等について各都道府県及び水道事業者等に通知された。水道水は摂取量が多く、比較的管理が可能であることから、水道水の目標の設定対象核種は、原子力発電所事故発生当時環境中で残留し、管理対象とすべき放射性セシウムとされ、Cs-134とCs-137の和に対して10 Bq/kgとの管理目標値が定められた[28]。なお、この水道水の値については、ストロンチウム(Sr-90)、プルトニウムなど、放射性セシウム以外の核種も環境モニタリングや計算で得られた原子力発電所事故により放出された核種組成比を仮定して推計した線量も踏まえ、それらを含んでも十分安全側の値として設定されており、水道水における放射性物質対策について検討会[29]での検討も踏まえている。

清涼飲料水は、食品衛生法上、食品として扱われ、水道法ではなく食品衛生法で規制されている。ただし、放射線安全上は、「直接飲用する水、調理に使用する水及び水との代替関係が強い飲用茶」は、「飲料水」として区分されていた。例えば、日本人が嗜好する市販のボトル茶もこの中に該当することとされた。このため、ボトル茶の放射線安全基準は、「一般食品」の基準(2019年8月現在、放射性セシウムとして100 Bq/kg)ではなく水道水の管理目標値と同じ値(放射性セシウムとして10 Bq/kg)が適用されている[30]。これらの考え方はコーデックスの考え方を利用していることから、国際原子力機関が示している一般安全要求事項とも調和している[11]。

2)放射線安全確保上の飲料の範囲

ここで改めて、放射線安全確保の観点からペットボトルに入っている飲料の分類を試みたい。ペットボトルに入っている飲料は、(1)水道水の管理目標値が適用されるもの、(2)乳児用食品となるもの、(3)「牛乳」となるもの、(4)「一般食品」となるものがある。このうち(1)水道水の管理目標値が適用されるものは、「(a)直接飲用する水、(b)調理に使用する水、(c)水との代替関係が強い飲用茶」のいずれかに該当とするものとなっている。(2)「乳

児用食品」となるものは、「(a)乳幼児向け飲料、(b)飲用茶に該当しないもの」の両方に該当するものとなっている。(4)「一般食品」となるものは、「乳酸菌飲料や飲むヨーグルト」などその他(野菜ジュースなど)である。

3)放射線安全確保上の飲料水の範囲

上述したように飲料水の区分に含まれる茶は、特に摂取量が多く水との代替関係が強い緑茶が該当しており、「茶葉」ではなく、その浸出液で評価される。緑茶は、せん茶と、これに類するものとして玉露、ほうじ茶、玄米茶など、チャノキを原料とし、茶葉を発酵させていないものを指している。なお、摂取量が多い飲料として麦茶があるが、麦茶は原料である大麦の状態である一般食品の基準100 Bq/kgが適用される。従って、実際に飲む状態の麦茶は、飲料水の基準である10 Bq/kgを下回り、100 Bq/kgの大麦から製造された麦茶での放射性セシウムの濃度は2 Bq/kgを下回ると考えられている[31]。一方、茶葉等から浸出又は抽出して飲まれる飲料であっても、緑茶と麦茶以外の、紅茶、ウーロン茶、ハーブティ、杜仲茶、ドクダミ茶、レギュラーコーヒーなどについては、摂取量に個人差があると考えられるものの、通常、摂取量が多くはなく、水との代替関係が特段に強いとは言にくいいため、飲料水の区分には該当せず、一般食品の基準が適用され、乾燥させた茶葉としてではなく飲む状態での濃度と指標値が比較されることになる[32]。

4)飲料用井戸水のリスク管理

飲料用井戸水は、法的には管理目標が設定されていないが、各自治体で相談に応じており、福島県では、福島県飲用井戸等衛生対策要領を設けている[33]。井戸水は、原子力事故による影響を受けがたいために特別な指標値は設けられていない。また、国及び福島県をはじめとする宮城県、茨城県、栃木県等の自治体では、井戸水でも計測が行われた。井戸水では自然放射性核種の濃度が高くなることもあり、このような計測で検出されることがある。

3. 欧州連合

年間の飲料水の摂取を仮定し、飲料水中の自然と人工の全ての放射性核種(ただしトリチウムとK-40と短半減期のラドンの子孫核種を除くとされている。また、

飲料水中の放射性物質に関する国内外の指標

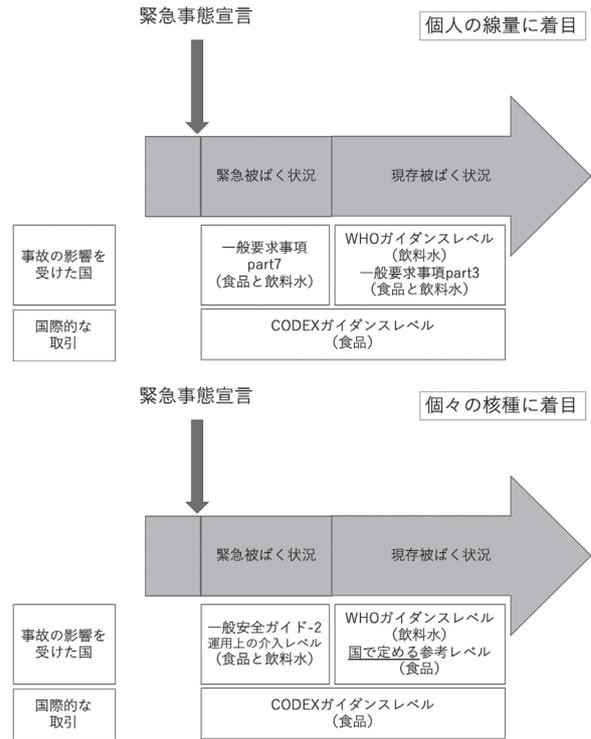
COUNCIL DIRECTIVE 2013/51/EURATOM of 22 October 2013 (Directive) の第3条で適用しないものや適用を除外される場合が規定されている)による預託実効線量が0.1mSv相当となる濃度が示されている[34]。仮に飲料水中に放射性セシウム134,137のみが存在し、その存在割合が1:1の場合は放射性セシウムとして8.7Bq/kgとなる。この欧州連合による指令(Directive)ではボトル水と水道水を区分していない。なお、欧州連合による指令は、加盟国の国内法制定で拘束力を発揮するもので、国内法制定に通常、2から5年かかるとされている。ここで提示された指標は、限度ではなく調査レベルであることが明示されており、各国の規制は欧州連合における指令を参考に設けるとされている。このため欧州連合内でも国により違いがあり、ドイツでは2012年5月30日に欧州委員会で採択された新しい基本安全基準(Basic Safety Standards)が有効になるまでは、それ以前の規制としてウラン0.01mg/L未満とし、年間の飲料摂取による線量を0.1mSv/a未満にするとの基準のみが設けられ、各核種の濃度は、飲料水の摂取の習慣と線量換算係数により誘導されることになっていた。

VI. 事故があった国の周辺地域での現存被ばく状況や緊急被ばく状況の飲料水の指標値

1. 国際的に流通する飲料水の指標値

コーデックスでは、ボトル入り/パッケージ入り飲料水に関して、Codex Standard 227-2001 GENERAL STANDARD FOR BOTTLED/ PACKAGED DRINKING WATERS (Other than Natural Mineral Waters) を定め(CODEX STAN 227-2001)、化学物質や放射性物質の含有量に関して、世界保健機関(WHO)の最新の“飲料水水質ガイドライン(Guidelines for Drinking Water Quality: GDWG)”に従うとしている。

国際的な商取引を対象とするコーデックスのガイド



出典：IAEA TECDOC-1788 (2016) の図1及び図2

図2 食品や飲料水中の放射性物質に対する個人への線量(上)と個々の核種(下)に基づいた国際的な標準やガイダンスが適用されるステージの区分

ンスレベルは、緊急被ばく状況と現存被ばく状況の双方に適用され(図2)、飲料水中の放射性物質に関しては、WHO飲料水水質ガイドラインに準拠することとしている。ここで除外されている自然のミネラル水はCODEX STAN 108-1981で扱われているが、CODEX STAN 108-1981は放射線安全に関して扱っていない。一方、CODEX STAN 193-1995 (CODEX GENERAL STANDARD

表7 IAEA-TECDOC-1788のFAQの例(Q3)

<p>Q3: WHOが飲料水のガイダンスレベルとして推奨している年間の摂取での0.1mSvと国際原子力機関が一般安全要求事項パート3で年間の摂取での1mSvを参考レベルとして示していることをWHOの飲料水の品質に関するガイドラインで提示されていることの間を教えてください。</p> <p>これらの2つの方法は別の目的のためです。WHOのガイダンスレベルは自然放射性核種が主に念頭にあります。多くの水はこれらの放射性物質を含み、これまでの経験から供給される多くの飲料水はこの線量区分に合致できると考えられています。従って、WHOのスクリーニング・レベルを用いることで、迅速により費用対効果で濃度が上がりさらなる調査が求められる水を特定することができます。</p> <p>それに対して、事故がおきた場合には、ある1つの核種や複数の核種の組み合わせがガイダンスレベルを持続的に上回る事態となるかもしれません。</p> <p>そのような事態では、国の当局では濃度低減策の実行や飲用目的で供給される水の継続的な使用に関して何らかの制限を設けることの必要性に関して判断する必要があるでしょう。</p> <p>そのような飲料水の供給では、供給される水の品質は1mSvの参考レベルと比べて評価する必要があります。個人が受ける線量が1mSvを下回るのであれば、その水はヒトの摂取に適用できると考えられますが、さらに最適化の検討が求められます。線量評価の結果、個人線量が1mSvを超えようである場合には、その水を飲用することを控えることは全体としての利益を考えると正当化されます。このような意志決定で考慮すべき要素として、どの参考レベルを超過したか、影響の低減措置のコストや他の代替飲料水の利用可能性があります。ヒトの摂取に不適切と考えられる場合であっても、供給される水が洗浄や洗濯に適していると考えられることがあります。</p>

表8 IAEA-TECDOC-1788のFAQの例 (Q4)

Q4: 飲料水が他の飲料とは別に扱われるのはなぜですか?
 大量の飲料水は、一般に国際的な取引対象とならないため、コーデックスの基準の対象とはなっていません。ボトル入り/パッケージ入り飲料水は国際的に取引されており、コーデックスのガイドラインの対象です。
 飲料水を別扱いにすることが適切である理由はいくつかあります。最も重要な考慮すべき事項は、飲料水はヒトの健康に不可欠であり、すべての年齢層で消費されるということです。飲料水は、炭酸飲料やフルーツジュースなど、他の飲料の基礎原料となります。また、水は何らかの形で毎日飲まれます。
 ただし、ボトル入り/パッケージ入り飲料水（天然ミネラルウォーターを除く）のコーデックス一般基準は、水がWHO Guidelines for Drinking-water Qualityの健康関連要件に準拠することを規定しています。したがって、年間1 mSvの参考レベルは、国際貿易の対象となるボトル入り/パッケージ入り飲料水にも適用されます。このため、消費者は、輸入されたボトル入り飲料水が蛇口から供給の飲料水と同じ基準を満たすことを期待できます。

FOR CONTAMINANTS AND TOXINS IN FOOD AND FEED) では、Infant foodsも含めて、S-35, Co-60, Sr-89, Ru-103, Cs-134, Cs-137, Ce-144, Ir-192などに対して、1,000 Bq/kgをガイドラインレベルとして提示している。なお、コーデックスでは本課題に関して継続的に食品汚染物質部会 (CCCF) で検討している。

以上を踏まえ、IAEA TECDOC-1788では、Q&A (表7, 表8) で国際機関が発行しているガイダンスレベルと参考レベルの違いを説明している。

コーデックスは国際機関であり、関連する国際機関の間で調和が取れた文書が策定される。放射線安全を所掌する国際機関は、国際原子力機関 (IAEA) であることから、この企画に関して、IAEAは技術文書 (IAEA-TECDOC-1788) のTABLE 5. SUMMARY OF CODEX GUIDELINES FOR RADIONUCLIDES IN FOOD IN INTERNATIONAL TRADEで解説を試みている。この解説では、飲料水は、Codex Standardでは取り扱われませんが、自然のミネラル水以外のボトル入り/パッケージ入り飲料水は、WHOの最新のGDWQに従う必要があるとし、CACの標準はボトル水を対象とはしていないが、個別のコーデックス標準においてWHOのGDWQを参照してカバーしていることを重要な点として記している。また、大量の飲料水は、基本的に通常、国際的な商取引の対象とはならないことから、個別のコーデックス標準の対象にも特には含まれないとしている。なお、コーデックス標準のガイドラインレベルは、消費する状態に適用されるとしている。

2. 飲料水中の自然放射性物質の線量評価用の参照値

既に述べたようにIAEA TECDOC-1788では、現存被ばく状況として飲料水中の自然放射性物質の参照値を提示している。なお、飲料水中の自然放射性物質は、日本では規制されていない (2019年8月現在)。ただし、水質基準に関する省令外ではあるが、化学毒性の観点からウランは水道水に関する水質管理目標設定項目とされており、その目標値はウランの量に関して0.002mg/L以下 (暫定) となっている。この濃度は、天然ウランでは、同位体存在比がU-234 (U-238と放射平衡) : 5.4 × 10⁻⁵, U-235: 7.2 × 10⁻³, U-238: 0.9927であることから、50mBq/Lに相当する。また、温泉法ではラドン濃度が111 Bq/kg以上の

ものを放射能泉としており、このうち672.7Bq/kg未満を弱放射能温泉、672.7 Bq/kg 以上を放射能温泉としている。なお、放射能温泉のリスクに関して地域住民を対象にした疫学研究では、男性では肺がんのリスクが増加することが示唆されている (オッズ比=1.65, 95%信頼区間0.83-3.30) [35]。

IAEAの技術文書の記述はWHOのGDWQに沿っているが、WHOの飲料水の水質ガイドラインの経緯や日本においてウランが水質管理目標設定項目となった経緯 (当時のWHOのガイドライン値 (1998年第2版追補) 0.002 mg/L (暫定) が監視項目での指針値として設定され、2019年8月現在も同様の指標値となっている) は愛知県衛生研究所の技術情報に詳述されている[36]。

VII. 計画被ばく状況における飲料水の指標値

1. 国際機関

WHOのGDWQは、非緊急状況を想定しており、現存被ばく状況への適用が想定されているが計画的被ばく状況にも適用できると考えられる (表6)。日本の水道水で検出されたことのあるI-131に適用すると、モニタリング結果に基づく現状の濃度はWHOのGDWQで提示されているガイドラインレベルと比べると1万分の1程度になる。WHOのGDWQでは、調査の契機として値の一覧表を示しており、Cs-134とCs-137ではそれぞれ10 Bq/Lとしている。

$$GL = \frac{IDC}{h_{ing} \times q} \quad (2)$$

GL: 飲料水中の放射性核種に関するガイダンス・レベル (Bq/L)

IDC: 個人が受ける線量のクライテリア、ここでは年間の摂取に対する預託実効線量として0.1mSv

h_{ing} : 成人に対する経口摂取での実効線量換算係数 (mSv/Bq)

q: 年間の飲料水の経口摂取量、年間730リットルが想定されている (WHOでの飲料水の標準摂取量である一日2リットルと等価である)

2. 日本

2019年9月現在、日本では、計画被ばく状況を想定し

飲料水中の放射性物質に関する国内外の指標

た飲料水の指標値は設けられていない。排出事業者としての責任を全うすることで環境への放出量が制御され水源の放射線安全が担保されているという考え方に基づくが、事故時には成り立たないことがあるので、原子力施設の事故を想定し、緊急被ばく状況に対応したOILが設定されている。

3. 米国

米国では、1974年に成立した安全飲料水法（Safe Drinking Water Act）が環境保護庁（Environmental Protection Agency：EPA）に対して有害な健康影響が起きないような汚染レベルを決定することを求めている。この規定に基づき、可能性のある健康影響と生涯の曝露量のみから、安全係数を利用した健康を守るための目標を最大許容濃度の目標値（Maximum Contaminant Level Goals：MCLGs）としている。ただし、計画被ばく状況としても水道水中から人工のβ線や光子が放出する核種は検出されることがあり、行政上、達成することはできない目標となっていることから、実質的な基準となる最大許容濃度（Maximum Contaminant Levels：MCLs）を定めている。ここでの有害物質には放射性物質も含まれている。米国環境保護庁が定めている最大汚染レベルを表9に示す[37]。これらのレベルは、全て発がんリスクの増加を抑制するために設定しているとされている。そのレベルを達成するために誘導された核種の濃度の例を表10に示す。これらは米国環境保護庁による安全飲料水法に基づく調査の契機となる値であるが、複数の核種が存在する場合には、それぞれの核種の比の和が1を超えるかどうか判定の基準となる。

この表では、米国国内での社会的な課題を反映してト

リチウムの値が例示されている。日本では、東京電力福島第一原子力発電所の事故が及ぼした食品や飲料水中のトリチウムのリスク管理に関して、薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会 放射性物質対策部会報告（2012年2月23日）により検討結果がとりまとめられており、炭素（C-14）と合わせて「これらの核種の食品中濃度が問題となるのは、環境中に大量かつ継続的に放出され、光合成によって植物に取り込まれ、有機物として蓄積する場合である。今回の事故においては、これらの核種は放出されて拡散している可能性があるが、放射性プルームは比較的短期間で通過しており、既に、環境中において拡散希釈されていると考えられる。よって、考慮しなければならないほどの線量となることは考えがたい。」とされており、緊急被ばく状況や現存被ばく状況においても指標値が設けられていない。なお、日本原燃株式会社の六ヶ所再処理工場では、事業者が定めるべき海洋へのトリチウムの放出管理目標値を年間で 1.8×10^{16} Bqとしている[38]。

この他の例として、放射性セシウム134,137の誘導値が、法令適用の技術的な解説となるEPAの小規模事業者向けのガイドに飲料水中のβ線や光子を放射する放射性核種の誘導濃度（pCi/L）として掲載されている[39]。このガイドでは、Cs-134: 80 pCi/L（3 Bq/L）、Cs-137: 200 pCi/L（7.4 Bq/L）と示されているが、ここでの誘導は、米国国立標準局（現在は米国国立標準技術研究所）が発行していたハンドブック 69を用いて、それぞれ年間の飲料水の摂取を仮定し、飲料水中の人工の全ての放射性核種のうち光子や電子を放出する核種による預託実効線量あるいは最大となる預託等価線量がそれぞれ0.04mSv相当となる濃度が示されている。仮に飲料水中に放射性

表9 米国環境保護庁が定めている最大汚染レベル

放射性核種	最大許容濃度の目標値 (maximum contaminant level goals)	最大許容濃度 (maximum contaminant level)
(調整された) 全α放射性核種 (ラドンやウランは含まれない)	Zero	15 pCi/L (0.55 Bq/L)
電子や光子を放出する放射性物質による放射性核種	Zero	4 mrem/y (40 μSv/y)
ラジウム226とラジウム228（組み合わせて）	Zero	5 pCi/L (0.2 Bq/L)
ウラン	Zero	30μg/L

出典：米国EPA, Office of Ground Water and Drinking Water. Implementation Guidance for Radionuclides. (2002)

表10 米国環境保護庁が例示している誘導された濃度

放射性核種	危険臓器(濃度誘導を決定する臓器)	pCi/L
トリチウム	全身	20,000 (740 Bq/L)
ストロンチウム90	骨髄	8 (0.3 Bq/L)

出典：米国EPA, Office of Ground Water and Drinking Water. Implementation Guidance for Radionuclides. (2002)

この表は単なる例示で、H-3とSr-90が選択されたことは、当時の社会的な問題を反映しているが、放射線防護上の特別な意味は持っていない。その後、ICRPモデルが改良されているが、米国の法令基準は2019年12月現在もそのままとっている。

セシウム134,137のみが存在し、その存在割合が1:1の場合は放射性セシウムとして4.2 Bq/kgとなる。この値は、事故の際での緊急被ばく状況や現存被ばく状況への適用が想定されておらず、計画被ばく状況に適用する指標であり、事業所からの計画的な放出による環境中の放射性物質の人体への取り込みの制御が目指されている。

なお、米国食品医薬品局による飲料水中の放射性物質に関する指標は基本的にEPAが示しているものと同等となっている。

VIII. その他の課題

1. 事故に由来した核種のモニタリング結果の解釈

事故直後の濃度が高かった時期を除き、前処理を行わない日常的なモニタリングでは自然由来以外の放射性物質が検出されることはないが、試料を濃縮して検出限界を小さくすることで、前述した放射性ストロンチウムだけでなく水道水中からも放射性セシウムが検出されることがある。そのレベルは水道の管理目標値の千分の1よりも小さく、2018年4-6月分の試料で福島県0.7mBq/kg、東京都4.8mBq/kgとなっている。

東京都では2016年6月以降、総合モニタリング計画の改定に伴い、採取地点が新宿区（主に朝霞浄水場系統のブレンド水）の事業所から葛飾区（江戸川を原水とする金町浄水場を中心とする給水区域に位置する事業所）に変更となっており、事故による放射性物質がより降下したかどうかや降雨時により水域に移行しやすいかどうか[40]などを反映していると考えられる。

2. 計画的に環境放出される核種のモニタリングでの検出

放射性セシウムと同様に低いレベルの放射性ヨウ素が検出されることがあり、2018年4-6月分の試料で大阪府0.7mBq/kg、2017年4-6月分の試料で兵庫県1.5mBq/kgとなっている[41]。この他、北海道、千葉県での検出例がある。この放射性ヨウ素は、計画的な医療利用に伴うものであり、放射性物質を投与された後、管理区域からの退出基準を満足し、自宅に帰宅した患者からの排泄が主な発生源になっていると考えられる。医療ではI-131が年間15TBq程度使用されており[42]、放射線治療後の退出基準の緩和が目指されていることから[43]、今後、検出される例や検出される濃度が増加する可能性がある。

3. 混乱事例

原子力事故への対応では、あらかじめ定めていた体表面スクリーニングに基づく安定ヨウ素剤の投与が想定外の状況のために機能させることができなかったなどの混乱があった[44]。一方、指標値に関して人々の関心が高まり、人々の疑問に答えるために様々な試みがなされ[45]、学会等の団体からも情報発信が行われ、多大な社

会貢献を果たした。ただし、その情報発信が混乱をもたらした例もあった。例えば、甲状腺の線量計算で、甲状腺等価線量ではなく実効線量に関する係数を用いて計算したり、暫定規制値の誘導では物理的な減衰が考慮されているにも関わらず、それを踏まえない説明がなされている例[46]や子供に関する線量計算で大人の係数を用いた質問の線量を訂正せずにそのまま答え、その後、修正された例[47]がある。

なお、これらの対応の経過中にICRPの線量換算係数の出版物中の誤植が発見され修正されている[48]が、政府機関が用いたものはウェブで公開されていたものであったので、この誤りの影響は受けていない。

ただし、政府の資料で「誤解を招きかねない」などとして環境省の統一的基礎資料の「食品の規制値の比較」（2017（平成29）年版）、復興庁の放射線リスクに関する基礎的情報（第9版）でコーデックスが水道水に関する指標値も提示していると記述されていたのが修正されるとともに、消費者庁の「食品と放射能Q&A」の第12版に補足説明が追加され、文部科学省の放射線副読本（2018（平成30）年度版）が訂正された例もある。

IX. まとめ

飲料水中の放射性物質に関する国内外の指標について根拠となる考え方の整理を試みた。緊急時及び平常時について、国内の各種指標、国外の指標として、国際機関、欧州連合、米国で設定されているものについて検討を行った。全体をとりまとめたものを表11 (<https://www.niph.go.jp/journal/data/69-5/202069050010ap01.pdf>) に示す。東日本大震災時の原子力発電所事故後に日本で用いられた指標は、国際的な考え方にに基づき導入された。それぞれの指標値は、その性格や前提が異なり、値だけを比較することは適切ではなく、それぞれの指標の根拠を踏まえることが重要である。国際的な取り組みが進められている自然放射性物質に対する指標値は、日本では、まだ整備されていない。米国で整備されている計画被ばく状況での指標値も日本では未整備となっているが、排出者管理がなされているので安全は担保されている。

利益相反情報の開示

執筆者らは事故後、政府機関の対策に携わっているが、本論文は政府としての考え方を示すものではない。本研究は、国立保健医療科学院の基盤的研究として実施した。この他、本論文の執筆に関して開示すべき利益相反情報は無い。

謝辞

出典元の記載内容の不明点を確認するために国際原子力機関のTony COLGAN氏や米国環境保護庁のEric

Burneson氏, Samuel Hernández Quiñones氏, Lisa Christ 氏らの援助を得た。

文献

- [1] 原子力災害対策本部. 原子力安全に関する I A E A 閣僚会議に対する日本国政府の報告書—東京電力福島原子力発電所の事故について—. 2011. https://www.kantei.go.jp/jp/topics/2011/iaea_houkokusho.html (accessed 2019-12-24)
Nuclear Emergency Response Headquarters, Government of Japan. [Report of Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety: The accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations.] 2011. (in Japanese)
- [2] 日本保健物理学会. 専門家が答える暮らしの放射線 Q&A. <http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/8699165/radi-info.com/> (accessed 2019-12-24)
Japan Health Physics Society. [Questions and answers about radiation in daily life.] <http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/8699165/radi-info.com/> (in Japanese) (accessed 2019-12-24)
- [3] WHO. Guidelines for drinking-water quality, 4th edition, incorporating the 1st addendum. Geneva; WHO; 2017.
- [4] IAEA. TECDOC-1788 Criteria for radionuclide activity concentrations for food and drinking water. Vienna; IAEA; 2016. <https://www.iaea.org/publications/11061/criteria-for-radionuclide-activity-concentrations-for-food-and-drinking-water> (accessed 2019-12-24)
- [5] 浅見真理. 放射性物質による水質汚染事故対応とリスクコミュニケーションの事例. 水道. 2014;59(5):29-37.
Asami M. [Examples of response and risk communication on the water pollution accident caused by radioactive materials.] Water Supply. 2014;59(5):29-37. (in Japanese)
- [6] 原子力規制庁. 環境放射線データベース. <https://search.kankyo-hoshano.go.jp/> (accessed 2019-12-24)
Nuclear regulatory agency. [Environmental radiation monitoring.] <https://search.kankyo-hoshano.go.jp/> (in Japanese) (accessed 2019-12-24)
- [7] 公益財団法人日本分析センター. 日本の環境放射能と放射線. <https://www.kankyo-hoshano.go.jp/> (accessed 2019-12-24)
The Japan Chemical Analysis Center. [Environmental radioactivity and radiation in Japan.] <https://www.kankyo-hoshano.go.jp/> (in Japanese) (accessed 2019-12-24)
- [8] Xu S, Cook GT, Cresswell AJ, Dunbar E, Freeman SPHT, Hastie H, et al. ¹⁴C levels in the vicinity of the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant prior to the 2011 accident. Journal of Environmental Radioactivity. 2016;157:90-96.
- [9] 山口一郎, 寺田宙, 高橋光子, 杉山英男, 三宅定明. 都市環境中における放射能モニタリングに関する調査研究. 第49回環境放射能調査研究成果論文抄録集 (平成18年度). 2007.
Yamaguchi I, Terada H, Takahashi M, Sugiyama H, Miyake S. Research on radiation monitoring in urban environments. Proceedings of the 49th Environmental Radioactivity Research Program. 2007. (in Japanese)
- [10] 水中ラドンに関する専門研究会. 活動報告書. 日本保健物理学会専門研究会報告書シリーズ. 2004;2(1). Specialized Study Group on Radon in Water. [Activity report.] Report Series of the Japan Society of Health Physics. 2004;2(1). (in Japanese)
- [11] IAEA GSR part3 Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. 2014. <https://www.iaea.org/publications/8930/radiation-protection-and-safety-of-radiation-sources-international-basic-safety-standards> (accessed 2019-12-24)
- [12] Codex Alimentarius Commission. Codex Standard 227-2001 General standard for bottled/ packaged drinking waters (Other than Natural Mineral Waters). Rome; CODEX; 2011.
- [13] 厚生労働省健康局水道課長通知. 「福島第一・第二原子力発電所の事故に伴う水道の対応について」. 平成23年3月19日付 健水発0319第1号. 2011.
Notice of Director of Water Supply Division, Health Bureau, Ministry of Health, Labour and Welfare. [On the water supply system's response to the accident at the Fukushima Daiichi and Daini Nuclear Power Plants (Kensui Issue 0319 No. 1).] 2011. (in Japanese)
- [14] IAEA. General Safety Requirements GSR Part 7: Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency. Part 7
- [15] IAEA. General Safety Guide No. GSG-2: Criteria for use in preparedness and response for a nuclear or radiological emergency 2011. <https://www.iaea.org/publications/8506/criteria-for-use-in-preparedness-and-response-for-a-nuclear-or-radiological-emergency> (accessed 2019-12-24)
- [16] WHO. FAQs: Japan nuclear concerns. 2011. <https://www.who.int/hac/crises/jpn/faqs/en/index8.html> (accessed 2019-12-24)
- [17] IAEA. Operational Intervention Levels for Reactor Emergencies and Methodology for Their Derivation Emergency Preparedness and Response. EPR-NPP-OILs. 2017. <https://www.iaea.org/publications/11093/operational-intervention-levels-for-reactor-emergencies> (accessed 2019-12-24)
- [18] 辻村憲雄. 全β放射能測定法と核実験フォールアウト. Isotope News. 2019;(763):42-43.

- Tsujimura N. [Total beta radioactivity assay and nuclear test fallout.] *Isotope News*. 2019;(763):42-43. (in Japanese)
- [19] 榎本和義. 学会としての震災への取り組みについて. *日本放射線安全管理学会誌*. 2011;10:96.
Masumoto K. [On the Society's efforts to respond to the earthquake.] *Journal of the Japan Society for Radiation Safety Management*. 2011;10:96. (in Japanese)
- [20] 榎本和義. 放射能モニタリングの課題と放射線安全管理学会の取り組み. 第10回JRSM 6月シンポジウム: 2013.6.13-14: 郡山. <http://jrsm.jp/shinsai/index.htm> (accessed 2019-12-24)
Masumoto K. [Challenges in radiation monitoring and the activities of the Society for Radiation Safety Management.] *The 10th JRSM June Symposium*; 2013.6.13-14; Koriyama. (in Japanese) <http://jrsm.jp/shinsai/index.htm> (accessed 2019-12-24)
- [21] Codex Alimentarius Commission. *Codex Standard 193-1995. Codex general standard for contaminants and toxins in food and feed*. Rome; CODEX; 1995.
- [22] 資源エネルギー庁. 平成23年度原子力安全規制情報広聴・広報事業(不正確情報対応)報告書. 2014. <http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11217428/www.enecho.meti.go.jp/about/faq/009/pdf/02.pdf> (accessed 2019-12-24)
Agency for Natural Resources and Energy. [Report on nuclear safety regulation information dissemination and public relations (Response to inaccurate information) in FY 2011.] 2014. <http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11217428/www.enecho.meti.go.jp/about/faq/009/pdf/02.pdf> (in Japanese) (accessed 2019-12-24)
- [23] 日本小児科学会, 日本周産期・新生児医学会, 日本未熟児新生児学会. 「食品衛生法に基づく乳児の飲用に関する暫定的な指標値 100Bq/キログラムを超過する濃度の放射性ヨウ素が測定された水道水摂取」に関する, 日本小児科学会, 日本周産期・新生児医学会, 日本未熟児新生児学会の共同見解. 平成23年3月24日. http://www.jpeds.or.jp/uploads/files/touhoku_6.pdf (accessed 2019-12-24)
The Japanese Society of Pediatrics, Japan Society of Perinatal and Neonatal Medicine, Japan Society for Premature and Newborn Medicine. [Joint position of the Japanese Society of Pediatrics, the Japanese Society of Perinatal and Neonatal Medicine, and the Japan Society for Premature and Newborn Medicine on the issue regarding "tap water ingestion containing radioactive iodine at concentrations exceeding 100 Bq/kilogram indicated at the provisional indicator value for infant consumption under the Food Sanitation Act".] 2011. http://www.jpeds.or.jp/uploads/files/touhoku_6.pdf (in Japanese) (accessed 2019-12-24)
- [24] 食安発1222第2号. 乳及び乳製品の成分規格等に関する省令及び食品, 添加物等の規格基準の一部改正について. 平成26年12月22日. 2014.
Food Safety Announcement No. 1222-2. The Ministerial Ordinance on Compositional Standards for Milk and Dairy Products and Partial Amendments to Standards for Foods and Additives. 2014. <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/105.pdf> (in Japanese) (accessed 2019-12-24)
- [25] European Commission. *EU Radiation protection series publications food restriction criteria for application after an accident*. 1998. <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/105.pdf> (accessed 2019-12-24)
- [26] US EPA. *PAG Manual*. 2017. <https://www.epa.gov/radiation/pag-manuals-and-resources> (accessed 2019-12-24)
- [27] WHO, *Management of radioactivity in drinking-water*. 2018. https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/management-of-radioactivity-in-drinking-water/en/ (accessed 2020-7-6)
- [28] 厚生労働省健康局水道課. 水道水中の放射性物質に係る管理目標値の設定等について. 平成24年3月5日. Water Supply Division, Health Bureau, Ministry of Health, Labour and Welfare. [Setting of target values for radioactive substances in tap water.] 2012. (in Japanese)
- [29] 厚生労働省. 水道水における放射性物質対策について検討会報告(中間とりまとめ). 平成23年6月21日. Ministry of Health, Labour and Welfare. [Report of the Study Group on Countermeasures for Radioactive Substances in Tap Water (Interim report).] (in Japanese)
- [30] 厚生労働省. 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, 添加物等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.
Director of Food Safety Division, Pharmaceutical and Food Safety Bureau, Ministry of Health, Labour and Welfare. (Amendment of the Ministerial Ordinance on Compositional Standards for Milk and Dairy Products, etc.) [To amend the Ministerial Ordinance on the Partial Revision of the Ministerial Ordinance on Compositional Standards for Milk and Dairy Products, to specify radioactive substances specified by the Minister of Health, Labour and Welfare pursuant to the provisions of (1) of appended table 2 of the Ministerial Ordinance on Compositional Standards for Milk and Dairy Products, and to amend part of the standards for food and additives, etc. March 15, 2012.] (in Japanese)
- [31] 等々力節子, 亀谷宏美, 内藤成弘, 木村啓太郎, 根井大介, 萩原昌司, 他. 麦原料から麦茶浸出液への放射性セシウムの移行率. *日本食品科学工学会誌*.

- 2013;60:25-29.
- Todoriki S, Kameya H, Naito S, Kimura K, Nei D, Hagiwara M, et al. [Investigation of extraction rate of radioactive Cesium from barley to barley tea]. *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi*. 2013;60:25-29. (in Japanese)
- [32] 厚生労働省医薬食品局食品安全部基準審査課長通知（食安基発0330第1号）。食品中の放射性物質に係る基準値の設定に関する Q&A について。平成24年3月30日。
Standard Evaluation Division, Department of Food Safety, Pharmaceutical and Food Safety Bureau, Ministry of Health, Labour and Welfare. (Food Safety Bureau, No. 0330-1). [Q&A on the establishment of standard values for radioactive substances in food. March 30, 2012.] (in Japanese)
- [33] 福島県。福島県飲用井戸等衛生対策要領。 <https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/21045e/suidou-inyoudo.html> (accessed 2019-09-21)
Fukushima Prefectural government. [Fukushima Prefecture drinking well sanitation guidelines.] <https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/21045e/suidou-inyoudo.html> (in Japanese) (accessed 2019-09-21)
- [34] European Union. COUNCIL DIRECTIVE 2013/51EUR-ATOM. 2013. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/GA/TXT/?uri=CELEX:32013L0051> (accessed 2019-09-21)
- [35] Ye W, Sobue T, Lee V.S, et al. Mortality and Cancer Incidence in Misasa, Japan, a Spa Area with Elevated Radon Levels. *Japanese Journal of Cancer Research*. 1998;89:789-796.
- [36] 大沼章子。水道水中のウラン。愛知県衛研技術情報。2006;30:1-8。
Ohnuma S. [Uranium in tap water.] *Aichi Prefectural Institute of Health Sciences Technical Information*. 2006;30:1-8. (in Japanese)
- [37] Office of Ground Water and Drinking Water, EPA. Implementation Guidance for Radionuclides.2002. <https://www.epa.gov/dwreginfo/final-implementation-guidance-radionuclides> (accessed 2019-12-24)
- [38] 日本原燃株式会社。再処理施設 アクティブ試験（使用済燃料による総合試験）経過報告（第4ステップ）。2018. <https://www.jnfl.co.jp/press/pressj2007/080227sankol.pdf> (accessed 2020-07-05)
Japan Nuclear Fuel Limited. [Active Test at the reprocessing plant (Integrated test with spent fuel) Progress Report (Step 4).] <https://www.jnfl.co.jp/press/pressj2007/080227sankol.pdf> (in Japanese) (accessed 2020-07-05)
- [39] Office of Ground Water and Drinking Water, EPA. Radionuclides in Drinking Water: A Small Entity Compliance Guide. 2002. <https://www.epa.gov/reg-flex/radionuclides-drinking-water-small-entity-compliance-guide-february-2002> (accessed 2019-12-24)
- [40] 独立行政法人日本原子力研究開発機構。平成26年度東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の分布データの集約及び移行モデルの開発事業成果報告書「河川水系における放射性セシウムの移行状況調査」平成26年度放射性物質測定調査委託事業「東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の分布データの集約及び移行モデルの開発」。2019。
JAEA. [Development of a data aggregation and transfer model for radioactive material distribution following the accident at the TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant in FY 2014, "Survey on the distribution of radioactive cesium in river water systems", report on the results of the project. 2019.] (in Japanese)
- [41] 原子力規制庁。上水（蛇口水）のモニタリング。 <https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/194/list-1.html> (accessed 2019-09-21)
Nuclear Regulatory Agency. [Monitoring of water supply (tap water).] <https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/194/list-1.html> (in Japanese)(accessed 2019-09-21)
- [42] 日本アイソトープ協会。放射線利用統計2018年。2019. Japan Radioisotope Association. [Statistics on the use of radiation in Japan 2018.] 2019.
- [43] 吉村真奈, 筒井英光。我が国の外来放射性ヨウ素 1.1GBq (30mCi) 内用療法の現状。日本内分泌・甲状腺外科学会雑誌。2018;35:174-178。
Yoshimura M, Tsutsui H. [Radioactive iodine therapy using 1.1GBq (30mCi) for the outpatients in Japan.] *Official Journal of the Japan Association of Endocrine Surgeons and the Japanese Society of Thyroid Surgery*. 2018;35:174-178. (in Japanese)
- [44] 放射線事故医療研究会。福島原発事故では何ができて何ができなかったのか。MOOK医療科学No.5放射線災害と医療。東京：医療科学社；2012。
Japanese Association for Medical Management of Radiation Accident. [What could and could not be done in the Fukushima nuclear accident?] Tokyo: Medical Science Co.;2012. (in Japanese)
- [45] 村上道夫, 永井孝志, 小野恭子, 岸本充生。基準値のからくり。東京：講談社；2014。
Murakami M, Nagai T, Ono K, Kishimoto A. [Reference value mechanism.] Tokyo: Kodansha; 2014. (in Japanese)
- [46] 日本核医学会。微量に放射能汚染された飲食物の長期摂取に関して。2011. http://www.jsnm.org/press/fukushima/fukushima_log/fukushima_report04/ (accessed 2019-12-24)
Japanese Society of Nuclear Medicine. [Long-term consumption of food and drink that is slightly radioactive.] 2011. (in Japanese)

- [47] 日本保健物理学会 暮らしの放射線Q&A活動委員会. お詫びと訂正 (平成23年11月16日掲載の記事について). 2013. <http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/8699165/radi-info.com/oshirase/o-18/index.html>(accessed 2019-12-24)
Health Physics Society of Japan. Radiation in Daily Life Q&A Activity Committee. [Apology and correction. (regarding the article published on November 16, 2011).] 2013. <http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/8699165/radi-info.com/oshirase/o-18/index.html> (in Japanese) (accessed 2019-12-24)
- [48] ICRP. Corrigenda to ICRP Publication 94: Release of Patients after Therapy with Unsealed Radionuclides. Ann. ICRP. 2004;34(2):341. [http://www.icrp.org/docs/P94_Corrigenda_in_P123_Ann_ICRP_42\(4\).pdf](http://www.icrp.org/docs/P94_Corrigenda_in_P123_Ann_ICRP_42(4).pdf) (accessed 2019-12-24)