

甲状腺簡易測定研修

甲状腺簡易測定の概要

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

Ver.202408

本講義では甲状腺簡易測定の概要を解説します。

講義内容

- 放射性ヨウ素による甲状腺内部被ばく
- 甲状腺中ヨウ素の測定
- 甲状腺簡易測定に基づく線量評価

※本講義ではヨウ素は特に断りが無い場合はヨウ素-131(^{131}I)をさす。

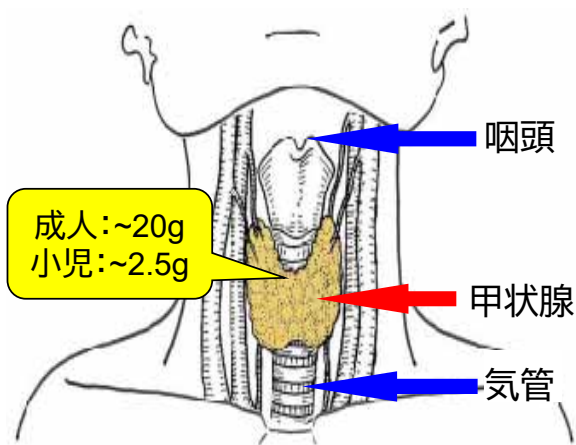
本講義の達成目標
「甲状腺中ヨウ素測定の理解を深める」

講義内容はスライドに記載のとおりです。

- ・放射性ヨウ素による甲状腺内部被ばく
- ・甲状腺中ヨウ素の測定
- ・甲状腺簡易測定に基づく線量評価

達成目標は甲状腺中ヨウ素測定の理解を深めることです。

ヒトの甲状腺



放射性ヨウ素も安定ヨウ素と
区別なく甲状腺に取り込まれる!!

前頸部の喉頭下部から気管上部
の高さに存在する内分泌腺

甲状腺ホルモン

- サイロキシン(T_4)とトリヨードサイロニン(T_3)の2種
- ヨウ素を含有したアミノ酸の一種

<作用>

1. 幼児期の成長と成熟の促進
2. 糖蛋白質、核酸、脂質の代謝促進
3. 酸素消費と熱産生の促進

(医学書院 医学大辞典 第1版2003.3.1)

甲状腺は頸部前面の下方の皮下にあります。甲状腺は安定ヨウ素を材料として甲状腺ホルモンの生成を行う内分泌腺です。放射性ヨウ素が体内に取り込まれると、安定ヨウ素と区別することなく甲状腺に集積するために、甲状腺が被ばくを受けることになります。甲状腺の重量は甲状腺の吸収線量（あるいは甲状腺等価線量）に影響を与える因子の一つになりますが、ICRPが線量評価モデルに用いている人体ファントムでは、成人で約20g、小児で数gの重量となっています。

福島第一原発事故による放射性核種の推定放出量(Bq)

核種	半減期	1号機	2号機	3号機	合計
Xe-133	5.2d	3.4×10^{18}	3.5×10^{18}	4.4×10^{18}	1.1×10^{19}
Cs-134	2.1y	7.1×10^{14}	1.6×10^{16}	8.2×10^{14}	1.8×10^{16}
Cs-137	30.0y	5.9×10^{14}	1.4×10^{16}	7.1×10^{14}	1.5×10^{16}
Sr-89	50.5d	8.2×10^{13}	6.8×10^{14}	1.2×10^{15}	2.0×10^{15}
Sr-90	29.1y	6.1×10^{12}	4.8×10^{13}	8.5×10^{13}	1.4×10^{14}
Te-129m	33.6d	7.2×10^{14}	2.4×10^{15}	2.1×10^{14}	3.3×10^{15}
Te-132	78.2h	2.5×10^{16}	5.7×10^{16}	6.4×10^{15}	8.8×10^{16}
Pu-238	87.7y	5.8×10^8	1.8×10^{10}	2.5×10^8	1.9×10^{10}
Pu-239	24065y	8.6×10^7	3.1×10^9	4.0×10^7	3.2×10^9
Pu-240	6537y	8.8×10^7	3.0×10^9	4.0×10^7	3.2×10^9
Pu-241	14.4y	3.5×10^{10}	1.2×10^{12}	1.6×10^{10}	1.2×10^{12}
I-131	8.0d	1.2×10^{16}	1.4×10^{17}	7.0×10^{15}	1.6×10^{17}
I-132	2.3h	1.3×10^{13}	6.7×10^{06}	3.7×10^{10}	1.3×10^{13}
I-133	20.8h	1.2×10^{16}	2.6×10^{16}	4.2×10^{15}	4.2×10^{16}

原子力安全に関するIAEA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(添付IV-2表5)

スライドに示す表は、福島第一原発事故に伴い環境中に放出された放射性核種の推定放出量を示しています。放射性ヨウ素には、I-131以外にもI-132やI-133がありますが、甲状腺線量に最も寄与するのはI-131です。ただし、Te-132の子孫核種として生成されるI-132やI-133も、事故直後から数日以内に内部取込みがあった場合には被ばく線量を考慮する必要があります。

【参考資料】

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

https://www.kantei.go.jp/jp/topics/2011/iaea_houkokusho.html

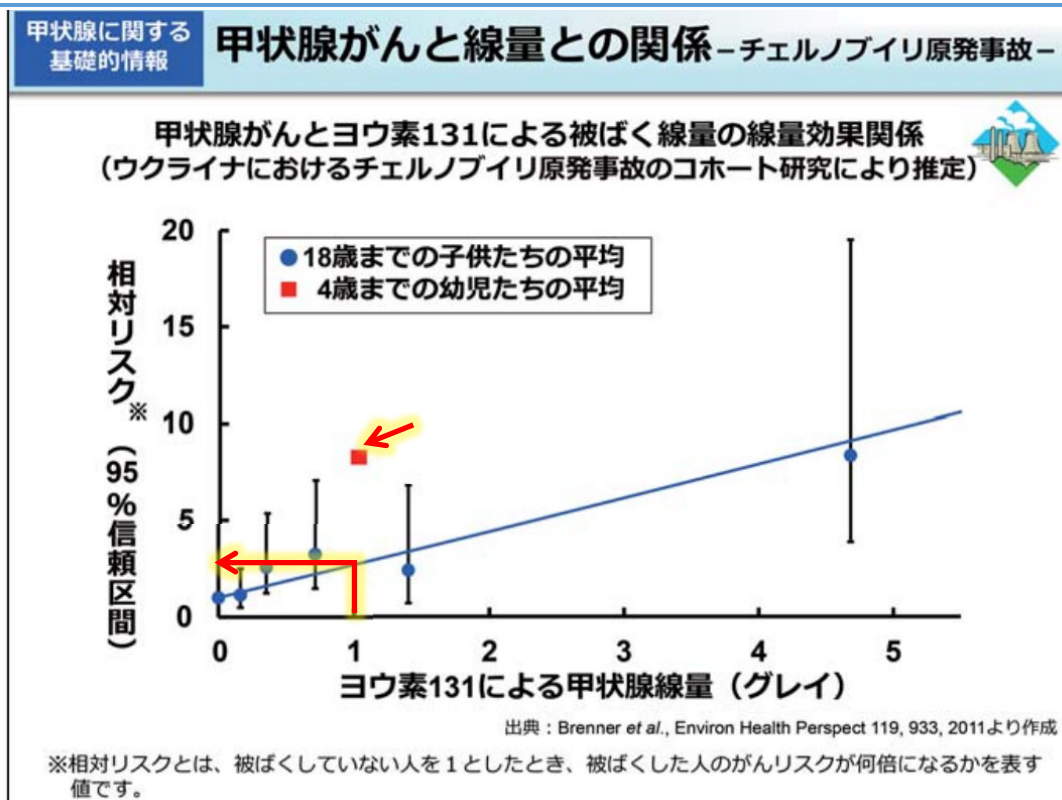
添付IV-2表5（訂正版は<https://www.kantei.go.jp/jp/topics/2011/pdf/1004seigo1.pdf>）

I-131以外の短半減期放射性ヨウ素に関する研究論文

Shinkarev et al. Estimation of the contribution of shortlived radioiodines to the thyroid dose for the public in case of inhalation intake following the Fukushima accident. Radiat Protect Dosim 164:51–56; 2015.

Ohba et al. Body surface contamination levels of residents under different evacuation scenarios after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. Health Phys 117:175–182; 2017.

甲状腺がんと線量の関係



(引用)放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料(令和4年度版)

チヨルノービリ原発事故に被災した子どもについて、甲状腺がん罹患と甲状腺線量の相対リスクの関係を示しています。甲状腺が1グレイの被ばく線量を受けると、18歳までの子どもたちに比べて、4歳までの幼児の相対リスクは3倍程度高くなることが示されました。

【参考資料】

Brenner et al. I-131 dose response for incident thyroid cancers in Ukraine related to the Chernobyl accident. *Environ. Health Perspect.* 119: 933–939; 2011.

<https://doi.org/10.1289/ehp.1002674>.

避難集団の被ばく－チェルノブイリ原発事故

甲状腺に関する 基礎的情報 甲状腺被ばく 避難集団の被ばく－チェルノブイリ原発事故－				
国	人数 (千人)	平均実効線量 (mSv)		平均甲状腺 線量 (mGy)
		外部 被ばく	内部被ばく (甲状腺以外)	
ベラルーシ	25	30	6	1,100
ロシア	0.19	25	10	440
ウクライナ	90	20	10	330

mSv : ミリシーベルト mGy : ミリグレイ

出典 : 国連科学委員会 (UNSCEAR) 2008年報告より作成

(引用)放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料(令和4年度版)

チェルノブイリ原発により避難した集団の平均線量を示しています。子どもでは平均甲状腺線量はさらに高いと推定されます。

チヨルノービリ原発事故と福島第一原発事故の比較(甲状腺線量)

甲状腺に関する
基礎的情報
甲状腺被ばく

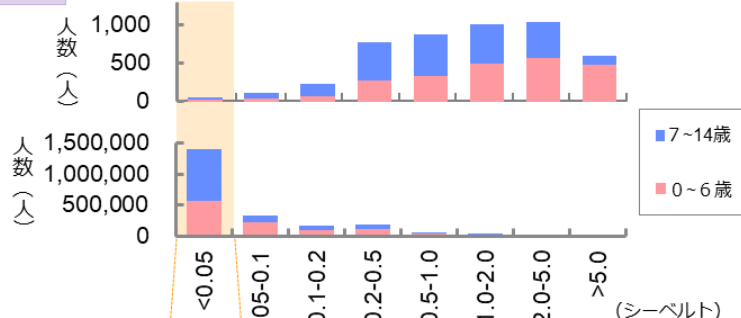
チヨルノービリ原子力発電所事故と 東京電力福島第一原子力発電所事故との比較 (甲状腺線量)

小児の甲状腺被ばく線量

チヨルノービリ原発事故

ベラルーシで1986年
に避難した集団

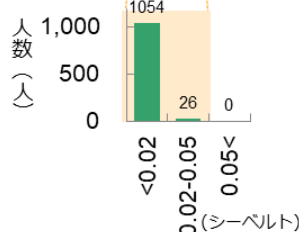
ベラルーシ全体
(避難者を除く)



出典：国連科学委員会 (UNSCEAR) 報告書2008年報告より作成

東京電力福島第一 原子力発電所事故

※このデータは、限られた
住民に対して行われた調査
によるものであり、全体を
反映するものではない。



計算方法
「小児甲状腺簡易測定調査結果の概要について」(2011
年8月17日 原子力被災者生活支援チーム医療班)にある
「小児甲状腺簡易測定結果」を、「スクリーニングレ
ベル0.2μSv/h(1歳児の甲状腺等価線量として100mSvに
相当)」(2011年5月12日 原子力安全委員会)を用い
て比較のために改編 (Gy=Sv)。
出典：原子力災害専門家グループ「福島県産の食品の安全
性について」

※計測方法や測定地の空間線量率から判断して検出限界
は0.02Sv程度。

(引用)放射線による健康影響等に関する統一した基礎資料(令和5年度版)

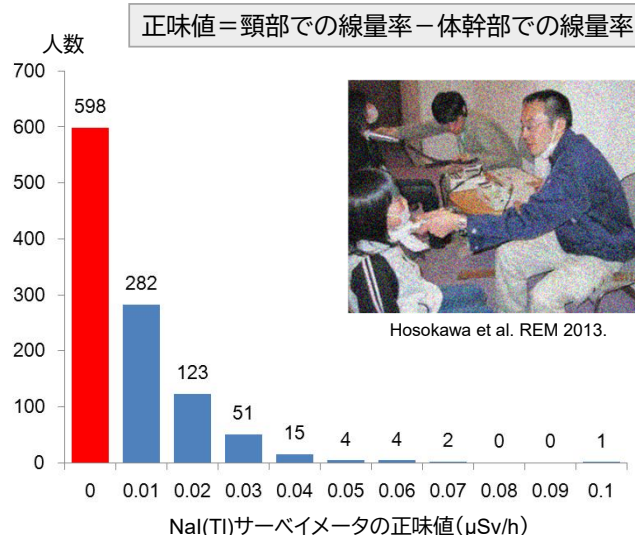
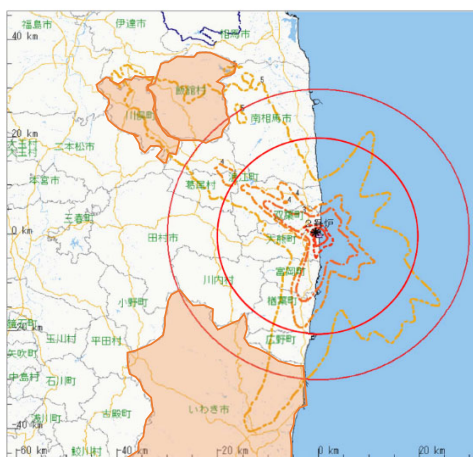
チヨルノービリ原発と福島第一原発事故における小児の甲状腺被ばく線量を比較しています。チヨルノービリ原発では牛乳を経口摂取し続けたことにより住民の甲状腺被ばく線量が高くなりました。福島第一原発事故では早期から飲食物の摂取制限が行なわれたために経口摂取による被ばく線量は比較的小さく、主たる被ばく経路は吸入摂取であったと推定されています。

【参考資料】

Uyba et al. Comparative analysis of the countermeasures taken to mitigate exposure of the public to radioiodine following the Chernobyl and Fukushima accidents: lessons from both accidents. J Radiat Res. 59 (Suppl. 2): ii40-ii47; 2018. (<https://doi.org/10.1093/jrr/rry002>)

小児甲状腺被ばくスクリーニング検査の概要

- 川俣町, いわき市, 飯舘村の3市町村にて, **1,080名**の子ども(15歳以下)の甲状腺中ヨウ素(^{131}I)の測定が原子力災害現地対策本部により実施。
- 全員スクリーニングレベル(**$0.2\ \mu\text{Sv/h}$**)未満⇒**甲状腺等価線量100mSv未満**



- スクリーニングを目的とした簡易検査であったが, 甲状腺中ヨウ素の実測データが他に殆ど得られなかったために福島住民の初期内部被ばくの線量再構築の基礎とされた。被検者の約半数が正味値0であり, 甲状腺被ばく線量は総じて低いことが確認されたものの, **正確な線量測定及び評価には課題を残した。**

Hosokawa et al. REM 2013., Kim et al. NIRS-M-252. 2012., Kim et al. Health Phys. 2020.

福島第一原発事故の発生から約2週間後に実施された小児甲状腺被ばくスクリーニング検査の概要になります。同検査は、即時避難（20km圏内）及び屋内退避指示（20-30km圏内）が出された区域の外側にある3自治体（川俣町、飯舘村、いわき市）で行われました。この検査は、本研修で習得する甲状腺簡易測定と同様にNaI(Tl)サーベイメータを用いて行われました。スライド右のグラフは、NaI(Tl)サーベイメータの正味値の分布を示しており、全員が1歳児で100mSvに相当するスクリーニングレベルとして設定された $0.2\ \mu\text{Sv/h}$ 未満でした。

【参考資料】

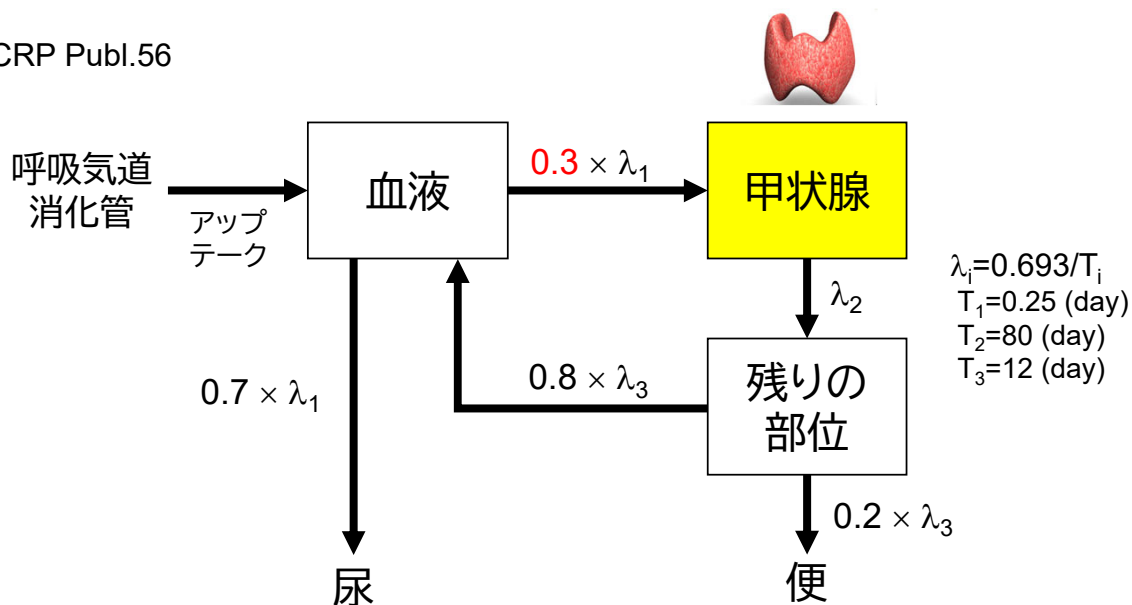
Hosokawa et al. Thyroid screening survey on children after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. Radiat Emerg Med 2:82–86; 2013.

Kim et al. Screening survey on thyroid exposure for children after the Fukushima Daiichi nuclear power station accident. In: Proceedings of the first NIRS symposium on the reconstruction of early internal dose in the TEPCO Fukushima Daiichi nuclear power station accident. Chiba, Japan: National Institute of Radiological Sciences; NIRS-M-252; 2012: 59–66.
<https://repo.qst.go.jp/records/73765>

Kim E et al. Reassessment of internal thyroid doses to 1,080 children examined in a screening survey after the 2011 Fukushima nuclear disaster. Health Phys 118:36–52; 2020.

ヨウ素の体内動態モデル

ICRP Publ.56



- 血中のヨウ素から甲状腺へのアップテークは、ICRPモデルでは**30%**に設定
- ただし、日本人被検者の調査では平均的に15-20%の範囲

ICRP（国際放射線防護委員会）が内部被ばく線量評価のために開発したヨウ素の体内動態モデルです。吸入または経口を介して体内に取り込まれた放射性ヨウ素は速やかに血中に移行し、その70%が尿中に排泄され、残りの30%が甲状腺に集積します。その後、他の部位への代謝や物理学的半減期により、甲状腺中のヨウ素は減少していきます。血中から甲状腺へのヨウ素の移行割合は30%とモデル上は仮定されていますが、日本人ではこの半分から2/3程度が平均値と推定されています。

【参考資料】

吉沢・草間. 日本人の甲状腺に関する正常値について. 保健物理 11: 123-128; 1976.

(参考)発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針

○発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針

昭和51年9月28日
原子力委員会決定

一部改訂 平成元年3月27日 原子力安全委員会
平成13年3月29日 原子力安全委員会

I. 目的

この指針は、「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針」に基づき、原子炉施設の基本的設計段階における平常運転時の原子炉施設周辺の線量を評価するため、放射性物質の放出量とそれによる線量の評価に使用する標準的な計算モデルとパラメータ等を定めたものである。

本指針で用いた計算モデルとパラメータは、現在における知識と経験をもとに現実的観点にたって定めたものであり、新たな知見、運転経験の蓄積等に応じて見直されるべきものである。

また、本指針以外の計算モデルとパラメータを用いる場合があっても、十分な根拠があれば、その使用は認められるものである。

II. 線量評価の範囲

1. 評価の対象

- (1) 外部被ばく及び吸入摂取による実効線量の評価は、原子炉施設周辺でそれぞれ最大の被ばくを与える地点に居住する人を対象とする。
- (2) 食物摂取による実効線量の評価は、現実存在する被ばく経路について、集落における各年令グループの食生活の態様が標準的である人を対象として行うものとする。

2. 被ばく経路

- (1) 放射性希ガスからのガンマ線による実効線量は、放出源から拡散移動する放射性雲のガンマ線からの外部被ばくによる実効線量を求めるものとする。
- (2) 液体廃棄物中の放射性物質に起因する実効線量は、放射性物質を含む海産物の摂取に伴う内部被ばくによる実効線量を求めるものとする。
- (3) 気体廃棄物中に含まれる放射性ヨウ素に起因する実効線量は、吸入摂取、葉菜摂取及び牛乳摂取に伴う内部被ばくによる実効線量を求めるものとする。

III. 放出放射性物質の発生源の計算

放出放射性物質の発生源の計算は、放射性物質処理系の機能及び性能を考慮して、排気口及び排水口から環境に放出される放射性物質の量を求めるものとする。

発生源の計算にあたっては、気体状で挙動する放射性物質については、核分裂生成物で

第1表 正常日本人のfwに関する主な文献調査結果

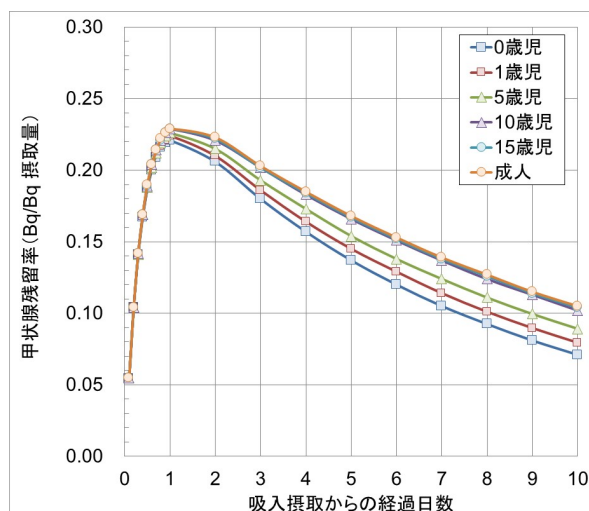
報告書	被検者 (例数 年令)	fw測定値 ^{*1}	備考
中 島 (千葉大) (1959)	85例 (3~10才) (小 児)	22.3% (24.07~20.57) ^{*2} { 男 23.7% (26.61~20.93) 女 20.9% (23.07~18.81) 6才以下 25.7% (28.35~23.05) 6才以上 20.8% (22.81~17.79)	(1) 成人との有意差なし (2) 性による有意差なし (3) 6才以下と以上は、 1%の危険率で有意差あり
中 村 (松江市立H) (1966)	31例 (成 人)	20.5% (4.8~43.2)	
中 村 (鳥取大) (1965)	47例 (成 人)	11.7% (2.8~29.8)	
久 保 (東邦大) (1958)	31例 (小 児)	24.6±8.3%	(1) 年令差なし
越 山 (京都大) (1962)	81例 { 男 48 女 33 (成 人)	10~49才 (51例) 17.3±1.5% 50~79才 (30例) 18.5±3.6%	(1) 年令差なし (2) 性差なし
岡 田 (太田H) (1961)	80例 (3~14才) 小児	23.2%	
木 下 (大久保H) (1966)	400例 { 男 78 女322 (10才以上)	20.7±8.3% (1.0~55.4)	(1) 性差なし (2) 年令差なし (3) 季節差なし

*1 投与24時間後の甲状腺のI-131のとりこみ割合

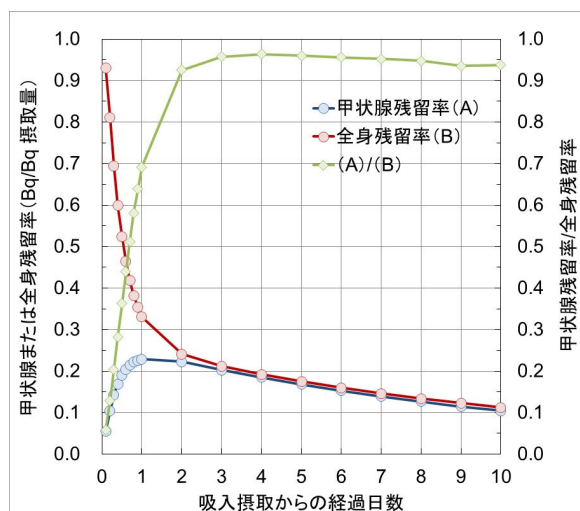
*2 信頼限度 (%)

原発設置の際に、万一の事故の際に周辺住民が受ける被ばく線量を試算することが事業者に求められますが、その際に参考とされる指針を参考情報として示しています。右の表のfwが血中に移行したヨウ素の甲状腺への移行割合に対応します。fwの平均値としては0.15~0.2の範囲を報告している研究者が多いですが、個人差が大きいことに注意する必要があります。

ヨウ素の体内動態と甲状腺残留率



¹³¹Iの各年齢群の甲状腺残留率
(化学形は元素状ヨウ素)



¹³¹Iの甲状腺残留率と全身残留率の比較 (成人)
(化学形は元素状ヨウ素)

ヨウ素の甲状腺残留量が最大になるのは吸入摂取から1日後
甲状腺中ヨウ素の測定は摂取から数日後以降が望ましい(緊急性のある場合を除き)

※スライド中の図はMONDAL3に収録されたデータを用いて量研機構によって作成

体内動態モデルを用いて計算されるI-131の甲状腺残留率（1BqのI-131を吸入摂取した場合の甲状腺残留量）を左図に示しています。吸入摂取するI-131の化学形は元素状（蒸気）を仮定しています。同図から分かるように、吸入摂取してから1日後に最大値となり、経過時間とともに減少していきます。年齢が若いほどヨウ素の代謝は早いので、成人に比べて減少のスピードは速くなります。右図は、同一条件で成人の場合について、（A）甲状腺残留率、（B）全身残留率、及び（A） / （B）の時間変化を示しています。（A） / （B）は2日以降で0.9となり、以降はあまり変動がなく、全身中のヨウ素の大半が甲状腺にほぼ集積していることが分かることから、甲状腺中ヨウ素の測定は、緊急性のある場合を除き、摂取から数日後移行が望ましいとされています。すなわち、甲状腺以外に残留するヨウ素からの影響が小さくなるからです。

【参考資料】

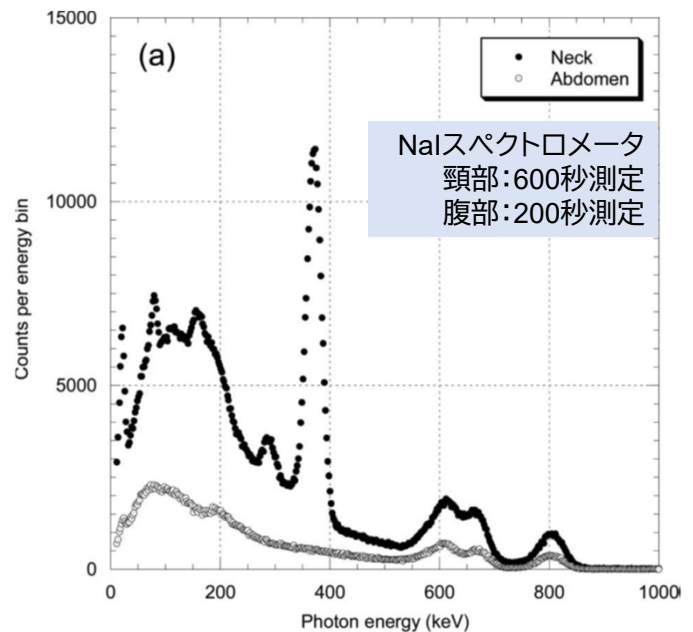
Ishigure et al.

Development of software for internal dose calculation from bioassay measurements. Radiat. Prot. Dosim. 109(3):235–24; 2004.

QST. MONDAL3 Support System for Internal Dosimetry.

<https://www.nirs.qst.go.jp/db/anzendb/RPD/mondal3j.php>

【参考】福島第一原発事故における甲状腺中ヨウ素の測定例



緊急作業従事者の測定は厚さ20cmの鉄遮へい室内において、相対効率50%のHPGe検出器と併せて、NaI(Tl)スペクトロメータでも実施 右図はNaI(Tl)スペクトロメータで取得された頸部及び腹部の波高スペクトル

Kurihara et al. NIRS-M-252. 2012; Kurihara et al. J. Nucl. Sci. Technol. 2013.

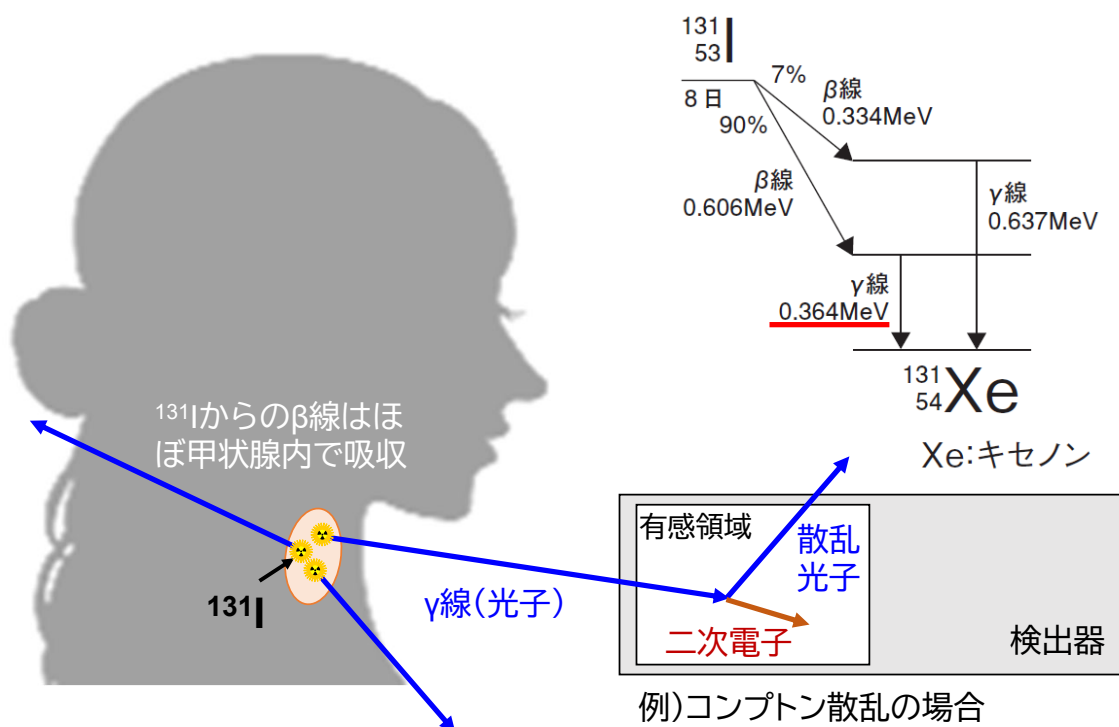
福島第一原発事故緊急作業員の体外計測の様子を左の写真に示しています。右の図は、緊急作業員の頸部と腹部をNaI(Tl)スペクトロメータで測定した波高スペクトルを示していますが、ヨウ素-131は頸部だけから検出されていることが分かります。

【参考資料】

Kurihara et al. Direct Measurements of Employees Involved in the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident for Internal Dose Estimates: JAEA's Experiences. In: Proceedings of the first NIRS symposium on the reconstruction of early internal dose in the TEPCO Fukushima Daiichi nuclear power station accident. Chiba, Japan: National Institute of Radiological Sciences; NIRS-M-252; 2012: 13–25.
<https://repo.qst.go.jp/records/73765>

Kurihara et al. Measurement of ^{131}I in the thyroids of employees involved in the Fukushima Daiichi nuclear power station accident. J. Nucl. Sci. Technol. 50:122–129; 2013.

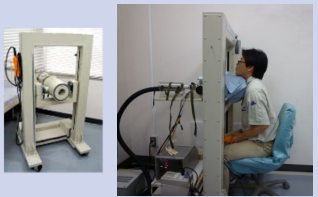
甲状腺中ヨウ素の直接測定(体外計測)



甲状腺中ヨウ素から放出されるガンマ線の一部を計測

甲状腺ヨウ素の測定原理を説明します。 I-131 からは右上の壊変図から示されるように、 β 壊変に伴い β 線と γ 線が放出されます。 β 線は甲状腺内で止まってしまうので体外から計測はできませんが、 γ 線については透過性が高いために体外からの計測が可能です。 I-131 からの γ 線の内、最も放出率が高いのが364 keVの γ 線で、放出率は約90%です。 NaI(Tl) 検出器等のガンマ線検出器を頸部前面に配置することで、これらの γ 線の一部を捉えることができます。同様な原理の測定器としてホールボディカウンタがありますが、甲状腺モニタなどと総称して体外計測装置と呼ばれることがあります。

甲状腺中ヨウ素の測定に用いる機器

機器	Nal(Tl)サーベイメータ	可搬型スペクトロメータ	(据置式)甲状腺モニタ
外観(写真)			
結晶	Nal(Tl)	Nal(Tl), LaBr ₃ (Ce) etc.	高純度Ge, Nal(Tl)
エネルギー分解能	—	良	優
測定時間(1名)※	～3分間	～5分間	～10分間
測定人数(1時間)	～20人	～10人	～5人
コスト	低	中	高
操作性	容易	やや難(スペクトル測定)	中(スペクトル測定)
欠点	核種同定は困難	操作性(解析はPC上)	移動不可
用途	甲状腺簡易測定	—	甲状腺詳細測定

※測定及び記録に要する時間のみ(簡易除染や波高スペクトルの解析等に要する時間は除く)の目安。測定者の経験や技量にも因る。

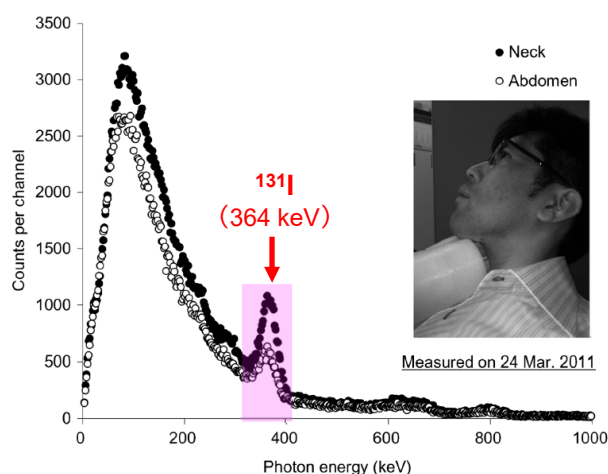
甲状腺中ヨウ素の測定に用いることのできる放射線測定機器類を示しています。Nal(Tl)サーベイメータはスクリーニングを目的とした甲状腺測定に適しています。ただし、Nal(Tl)サーベイメータは空間線量率を測定する機器であり、核種同定は基本的に行えないために、頸部と頸部以外の部位で2回測定を行い、後者を被検者個人のバックグラウンドとして計測値を取得する必要があります。(据置式)甲状腺モニタは、高度被ばく医療支援センターや原子力災害拠点病院等に設置されています。甲状腺モニタには核種同定が可能な放射線機器及び遮へい体が備えられており、より低い甲状腺中ヨウ素量の検出が可能です。可搬型スペクトロメータはNal(Tl)サーベイメータと同じく、現地に持ち込んで測定を行うことが可能であり、核種同定を行うこともできます。福島第一原発事故においても、可搬型スペクトロメータが使用された経験(Tokonamiら)があります。

【参考資料】

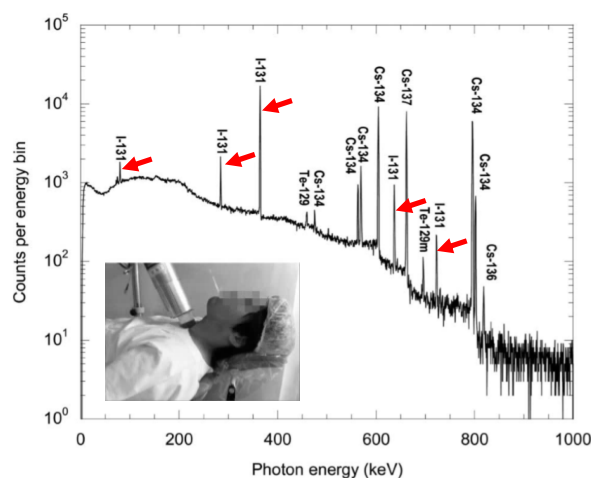
Tokonami et al. Thyroid doses for evacuees from the Fukushima nuclear accident. Sci Rep 2:507; 2012.

・ 簡易測定の処理能力に関する原子力規制庁による試算
令和3年5月27日 第3回緊急時の甲状腺被ばく線量モニタリングに関する検討チーム
資料5-1 簡易測定の実施体制について
<https://www.nra.go.jp/data/000353494.pdf>

甲状腺中ヨウ素の測定(スペクトロメータ)



NaI(Tl)検出器で得られた波高スペクトル



HPGe検出器で得られた波高スペクトル

スペクトロメータで測定すれば核種が同定できる。

Kurihara et al. NIRS-M-252. 2012; Kurihara et al. J. Nucl. Sci. Technol. 2013.

スペクトロメータを用いた測定例を紹介しています。左はNaI(Tl)検出器、右はHPGe検出器でそれぞれ得られたスペクトルです。スペクトルは、横軸にエネルギー、縦軸に横軸のエネルギーに対応した計測 γ 線のカウン트의情報を持っています。スペクトル上のピーク中心の横軸のエネルギーを調べることで核種が同定できます。NaI(Tl)検出器のスペクトルでは364keVの位置にI-131のピークを見ることができますが、HPGe検出器ではさらに多くの異なるエネルギーのI-131からの γ 線を確認することができます。

【補足】

左のNaI(Tl)検出器の波高スペクトルは、頸部（黒プロット）と腹部（白プロット）の測定で得られたものです。腹部（白プロット）のスペクトルにおいてもI-131のピークが認められますが、測定場所周辺の環境にあるI-131からの寄与となります。

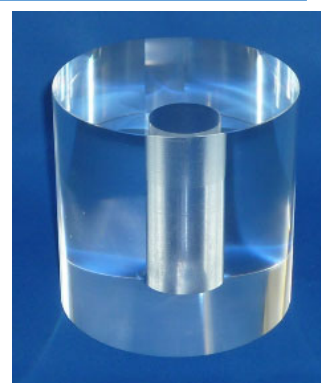
甲状腺測定に用いる校正用ファントム



頸部ファントム
京都科学製
Ref. ICRU 48 (1992).



ORINSファントム
Ref. ORINS-19 Thyroid radioiodine uptake
measurement (1959).



ANSIファントム
Ref. ANSI N44.3-1973,
ANSI/HPS N13.44-2014



年齢別甲状腺ファントム
Beaumont et al. Phys Med Biol. (2017)

※スライド上部の頸部ファントム, ORINSファントム, 及び, ANSIファントムの写真は量研機構で所有

甲状腺中ヨウ素の測定に用いる校正ファントムを紹介しています。日本国内ではORINSファントムが多く使われてきており、Ba-133とCs-137を調合したモックiodine線源をセットします。ANSIファントムは国際的なデファクトスタンダードファントムとして使われています。京都科学製の頸部ファントムは福島第一原発事故の際に行われた小児甲状腺被ばくスクリーニング検査に用いられました。近年、フランスのIRSNの研究者により、年齢別甲状腺ファントムが開発されています。

【参考文献】

Beaumont et al. Development and test of sets of 3D printed age-specific phantoms for ¹³¹I measurements. Phys. Med. Biol. 72: 4673–4693; 2017 (<https://doi.org/10.1088/1361-6560/aa6514>).

Beaumont et al. A systemic experimental study of parameters influencing ¹³¹I-iodine in vivo spectrometric measurements using age-specific thyroid phantoms. J. Radiol. Prot. 38: 651–655; 2018 (<https://doi.org/10.1088/1361-6498/aab967>).

Kim et al. Screening survey on thyroid exposure for children after the Fukushima Daiichi nuclear power station accident. In: Proceedings of the First NIRS Symposium on the Reconstruction of Early Internal Dose in the TEPCO Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station Accident. National Institute of Radiological Sciences. NIRS-M-252: 59-66; 2013.

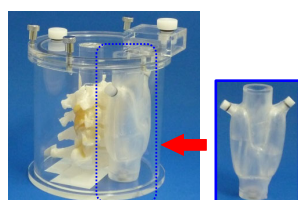
Peng et al. Experience and performance of in vivo monitoring laboratory of NIRP in 2017 thyroid measurement intercomparisons. Appl. Radiat. Isot. 168: 109491; 2021.

甲状腺測定から線量評価までの手順

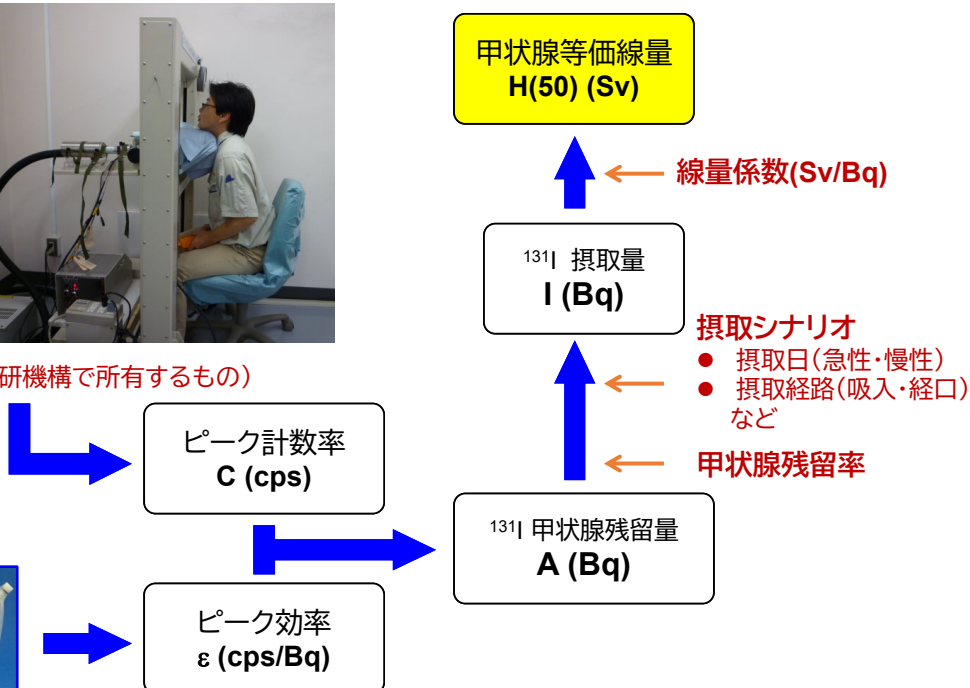
甲状腺モニタの場合



甲状腺モニタ(量研機構で所有するもの)



校正用ファントム



摂取シナリオ

- 摂取日(急性・慢性)
- 摂取経路(吸入・経口)など

甲状腺残留率

甲状腺測定から線量評価までの手順を図解しています。被検者の測定の前に、校正用ファントムを用いて使用する測定器の計数効率（ピーク効率）や換算係数を求めておく必要があります。計数効率は、校正用ファントム中の線源に含まれる放射能（Bq）と校正用ファントムを所定の位置に配置して測定して得られる計数率（ピーク計数率）の比であり、単位はcps/Bqです。換算係数はNaI(Tl)サーベイメータなどの測定機に対して用い、計数率ではなく空間線量率（周辺線量当量率）を用い、正味の空間線量率から甲状腺中ヨウ素残留量に換算する係数として決定します。計数効率や換算係数を用いて、被検者の頸部測定からヨウ素の甲状腺残留量を評価した後、摂取時期や摂取経路などの摂取シナリオを決定し、甲状腺線量を算出することができます。

【補足説明】

ヨウ素の甲状腺残留量の直接計測値が得られている場合は、ヨウ素の化学形（元素状ヨウ素，ヨウ化メチル，粒子状ヨウ素）の違いは線量評価にあまり影響しません。他方、空气中濃度から吸入量を評価して線量評価を行う場合は、ヨウ素の化学形による違いが大きいため注意が必要です。

小児甲状腺被ばくスクリーニング検査の方法(事故当時)

シンチレーションサーバイメータによる甲状腺線量の簡易測定法 (2011年3月25日改訂版)

1. 目的

本測定法は簡易的に甲状腺内の放射能を調査することを目的とする。

2. 測定対象

1歳児～15歳児

3. 使用可能な測定器

TCS-161, 171, 172に限定する。

4. 測定条件

- 1)音は出ないようにする。
- 2)時定数を**10秒**にする。
- 3)指示値を $\mu\text{Sv/h}$ 単位とする。
- 4)**測定は30秒とし、30秒後の指示値を3回読んで、その平均値を記録**する。
- 5)プローブは養生すること。子どもが対象であることから、その上にティッシュを巻くこと。

5. バックグラウンド測定

測定場所のバックグラウンドを甲状腺測定前に測定し、記録する。

6. 甲状腺測定

- 1)首の回りを汚染のない濡れタオルで拭き、除染する。水は未開封のペットボトルの水を用いると良い。
- 2)甲状腺にプローブを密着して測定する。**プローブの位置は体軸中心で高さは首と鎖骨の交点**である。
- 3)指示値を記録し、バックグラウンドの値を差し引き、正味値を求める。
- 4)正味値が $1\mu\text{Sv/h}$ のとき、甲状腺残留放射能は 22kBq である。これは1歳児の場合であり、年齢とともに数値は減少する。
- 5)正味値は居住地や避難経路とともに記録する。
- 6)**1歳児以下で $0.2\mu\text{Sv/h}$ を超える場合、放医研に問合せとする。**

当時の資料を一部修正して掲載

福島第一原発事故の際に実施された小児甲状腺被ばくスクリーニング検査の手順を示しています。今回研修で行う甲状腺簡易測定とはほぼ同様な手順となっていますが、バックグラウンドの測定方法や頸部測定データの取得方法（甲状腺簡易測定では3回読み取りを行い中央値を正味値の計算に用いる）などが違います。ここで示した手順は、小児甲状腺被ばくスクリーニング検査を実施するに当たり、国の現地対策本部からの指示により放医研（現、量研）で急遽作成されたものです。

【参考資料】

原子力安全委員会 小児甲状腺被ばく調査に関する経緯について（平成24年9月13日）

スクリーニングレベルの導出(事故当時)

鈴木敏和, 放射線事故医療研究会(2011)

1歳児の甲状腺等価線量 100 mSv(当時)※

摂取シナリオの設定(12日間連続吸入)

摂取後翌日の甲状腺中 ^{131}I 残留量を計算

甲状腺中 ^{131}I 残留量に対応する
検出器の応答を評価

0.2 $\mu\text{Sv/h}$ (1歳児)

5歳児では約60mSv, 成人では約15mSvに相当

※100 mSvは「原子力施設等の防災指針について(当時)」の安定ヨウ素剤の予防的服用の基準値



※NHKサイエンスゼロから引用

小児甲状腺被ばくスクリーニング検査で設定されたスクリーニングレベルの導出方法です。使用する機器は今回の甲状腺簡易測でも使用するNaI(Tl)サーベイメータです。1歳児の甲状腺等価線量が100mSvに相当する甲状腺残留量に対するNaI(Tl)サーベイメータの正味値が0.2 $\mu\text{Sv/h}$ になります。ただし、摂取シナリオは12日間の連続摂取を仮定しており、翌日に測定したとする条件です。スクリーニングレベルに相当する甲状腺線量は、5歳児では約60mSv, 成人では約15mSvになります。

【参考資料】

Kim et al. Screening survey on thyroid exposure for children after the Fukushima Daiichi nuclear power station accident. In: Proceedings of the first NIRS symposium on the reconstruction of early internal dose in the TEPCO Fukushima Daiichi nuclear power station accident. NIRS-M-252: 59–66; 2013.

Kim et al. Reassessment of thyroid internal doses of 1,080 children examined in a screening survey after the 2011 Fukushima nuclear disaster. Health Phys. 118: 36-52; 2020.

スクリーニングレベルの導出(事故当時)(続き)

Nalサーバイメータの校正

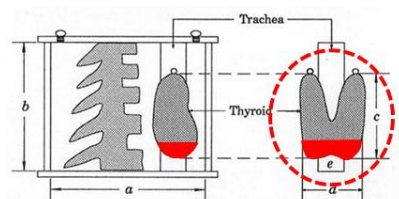


ファントムを用いて校正

測定器:アロカ製(当時)TCS-161, 171, 172

校正条件:京都科学製ファントムの甲状腺形状容器に ^{133}Ba 溶液を,年齢に応じた甲状腺容積*を考慮して封入

- 1歳児:2.5 ml
- 5歳児:6.1 ml



a:100 mm, b:100 mm, c: 55 mm, d:45 mm, e:20 mm



量研照射施設で高線量場の再現

年齢区分	0.2 $\mu\text{Sv/h}$ 正味値に相当する ^{131}I 量	12日間吸入摂取翌日に計測した場合の実効線量	左条件での甲状腺等価線量
1歳児	4400 Bq	5.4 mSv	108 mSv
5歳児	4690 Bq	3.2 mSv	64 mSv
成人	6030 Bq	0.8 mSv	16 mSv

(1歳児条件の場合, 1 $\mu\text{Sv/h}$ は約22 kBq)

スクリーニングレベルの設定において実施した実験を示しています。一つはNaI(Tl)サーバイメータの換算係数を求めるための実験であり, 上の写真に示すようにファントムを用いて行いました。ファントムの中には既知量のBa-133溶液を甲状腺形状容器がセットされています。ただし, 当時は子ども用のファントムがなかったために, 甲状腺形状容器に子どもの甲状腺体積と同等のBa-133溶液を封入しすることで対応しました。もう一つの実験は, 照射施設を使って, 高線量率の環境下でスクリーニングレベルを識別できるかの検証実験です。検査当時の福島県内の環境中の空間線量率は軒並み上昇しており, 小児甲状腺被ばくスクリーニング検査の会場周辺でもスクリーニングレベルを大きく超える状況であったため, こうした検証が必要になりました。

Nal(Tl)サーバイメータの換算係数(1)



Photo. 2.1.2-1 Measurement to estimate conversion coefficient.

オリンス型ファントム内の線源部の位置
にプローブの前端を密着して測定

JAERI-M 93-172

Table 2.1.2-2 Simplified Conversion coefficient of NaI survey meters
for the estimation of deposited amount of ^{131}I in thyroid.

Type of survey meters	Conversion coefficient for measurement in touch with neck [kBq/($\mu\text{Sv/h}$)]	
	Mean and sigma	usable approximation
Discriminator bias modulation type (TCS-161)	32 ± 2	30
Count-rate meter types (TCS-121C, TCS-151)	17 ± 1	20

TCS-161(TCS-171/172先代モデル)

密着測定にて, **$1 \mu\text{Sv/h} \rightarrow 30 \text{ kBq}(^{131}\text{I})$ ※成人用**

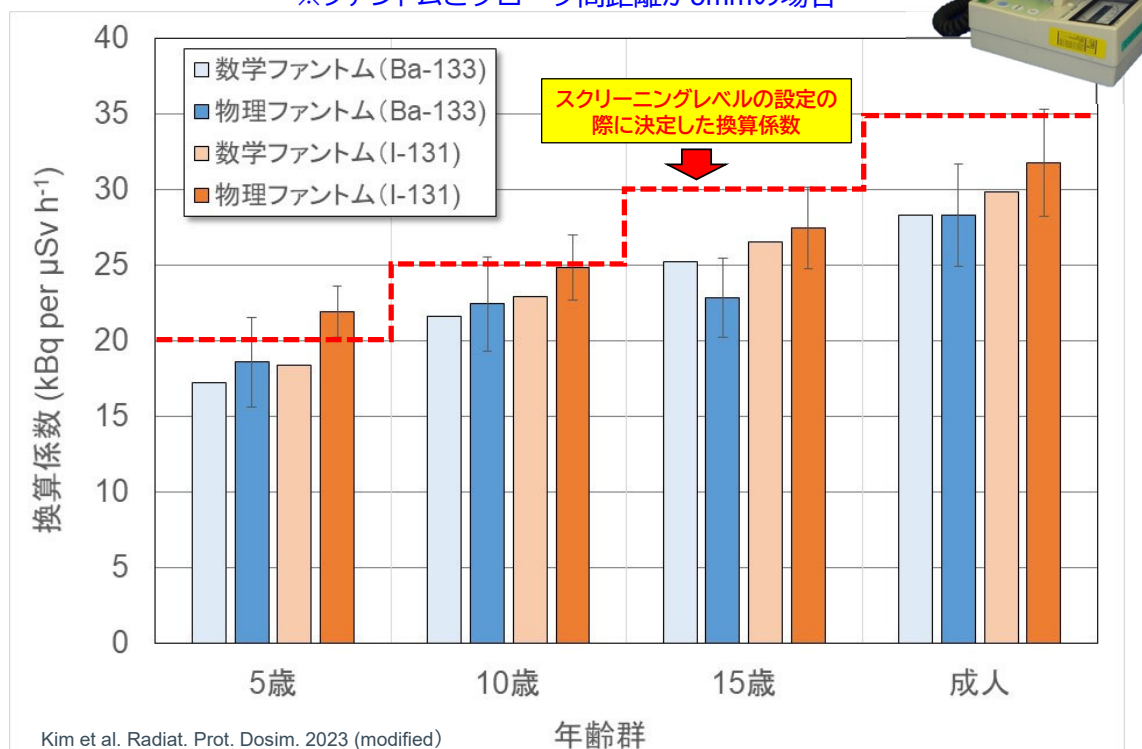
引用: JAERI-M 93-172(1993)

Nal(Tl)サーバイメータの換算係数に関する資料です。Nal(Tl)サーバイメータ（エネルギー補償型TCS-161）の甲状腺中ヨウ素-131に対する換算係数は、プローブを頸部に密着させた条件で30 kBq/ $\mu\text{Sv/h}$ と評価されています。ただし、成人頸部を模擬したORINSファントムを用いた実験結果として得られています。

Nal(Tl)サーバイメータの換算係数(2)

各年齢群に対する換算係数(TCS-172)

※ファントムとプローブ間距離が5mmの場合



甲状腺簡易測定におけるスクリーニングレベルを新たに設定するにあたり、年齢別のファントムを用いてNaI(Tl)サーバイメータの換算係数を再評価しました。赤点線が評価結果を基に設定した換算係数になります。換算係数が大きいということは、単位正味値当りの甲状腺中ヨウ素残留量が大きいということなので、すなわち、検出感度が低いということを意味します。このグラフから、5歳児が最も検出感度が高く、成人が最も検出感度が低いことが示されますが、これは子どもの方が甲状腺が小さいために検出器の幾何学的効率が大きくなり、また、甲状腺前の組織厚さが薄くなるために減弱も小さくなるためと考えられます。

【参考資料】

Kim et al. Screening levels of TCS-172 NaI(Tl) survey meters used for direct thyroid measurements in nuclear disasters. Radiat. Prot. Dosim. 199 (15-16): 1989-1993; 2023.

甲状腺簡易測定の手順

「甲状腺被ばく線量モニタリング実施マニュアル」から引用

1. 対象者の受付

誘導班は、対象者の受付を行い、氏名、年齢、連絡先等を確認・記録する。また、簡易測定を受けることの同意等を、本人又は保護者から取得する。

2. 大腿部測定

測定者と対象者は、対面で椅子に座った状態で測定を行う。

Nal(Tl)サーベイメータのプローブを対象者の**大腿部上部に配置して指示値を1回読み取り、測定値として記録する**。実施場所のバックグラウンドの値に比べて明らかな上昇を認めた場合には、他の部位（肩口や腹部等）で測定する。当該部位においてもバックグラウンドの値と比べて明らかな上昇がある場合は、表面汚染がある場合の対応に従い対応する。

3. 頸部測定

ウェットティッシュ等で頸部前面の拭き取りを行う。その後、Nal(Tl)サーベイメータのプローブを対象者の**頸部前面に配置して指示値を一定の時間間隔ごとに3回読み取り、各指示値を記録する**。

4. 正味値の計算

頸部測定値から大腿部測定値を差し引き、使用するNal(Tl)サーベイメータの校正定数を乗じて、正味値を計算する。ただし、**頸部測定値は3回の読み取った指示値の中央値**とする。

測定者と測定補助者で正味値に誤りがないことを確認し、正味値の値を測定結果として記録する。

5. 測定値の伝達

正味値の値が**スクリーニングレベル**を超える場合は別途マニュアルに定めるとおり対応する（詳細測定）。正味値の値が**スクリーニングレベル**以下の場合は詳細測定の対象にならないことを伝える。

甲状腺簡易測定の手順を示します。対象者の受付後、被検者と対座した測定者は先ず大腿部上部の測定を行います。大腿部の測定では1回指示値を読み取ります。頸部の前に大腿部を測定するのは、身体汚染の確認有無に加えて、被検者へのストレスを軽減する目的のためです。次に頸部測定を行いますが、指示値が安定した後的一定間隔（10秒程度）を空けて3回指示値を読み取ります。3回の指示値の中央値を正味値の計算に用います。3回指示値を読み取るのは、偶発的なノイズ等の外的要因による影響や変動する指示値の読み取りに慣れていない測定者に対する負担を軽減する目的のためです。

【参考資料】

内閣府（原子力防災担当）原子力規制庁． 甲状腺被ばく線量モニタリング実施マニュアル

<https://www.nra.go.jp/data/000434068.pdf>

甲状腺簡易測定の手順(続)

ステップ1. 大腿部測定(個人バックグラウンド)

被検者の大腿部上部にプローブを配置し、指示値を読み取り、その結果を**指示値(B)**とする。

ステップ2. 頸部測定(甲状腺中ヨウ素)

被検者の頸部前面にプローブを配置し、一定の時間間隔で指示値を**3回**を読み取り、その中央値を**指示値(A)**とする。※指示値は3回分とも記録

ステップ3. 正味値の計算

指示値(A)から**指示値(B)**を差し引いて、これに**校正定数**を乗じて正味値を計算する。

正味値をスクリーニングレベル(0.2 μ Sv/h)と比較



指示値(A)

—
差し引く



指示値(B)



$$\text{正味値} = \{\text{指示値(A)} - \text{指示値(B)}\} \times \alpha$$

校正定数

校正定数は指示値と実際の値とのずれを補正するための数値であり、メーカーによる年次点検等で与えられる。

0.15, 0.14, 0.16 (μ Sv/h)

0.15, 0.15, 0.17 (μ Sv/h)

0.05 (μ Sv/h)

$(0.15 - 0.05) \times 0.95 = 0.095 = 0.1 \mu\text{Sv/h}$

甲状腺簡易測定の手順の要点を示したスライドになります。ステップ1として大腿部測定を行い、1回読み取った結果を指示値Bとします。ステップ2では頸部の測定を行います。指示値が安定した後、一定間隔で3回読み取り、その中央値と指示値Aとします。ステップ3で、指示値Aから指示値Bを差し引いた値に校正定数を乗じ、正味値を求めます。この正味値をスクリーニングレベルと比較することで、詳細測定の必要有無を判断します。

甲状腺簡易測定の方法(続)



大腿部測定



頸部測定

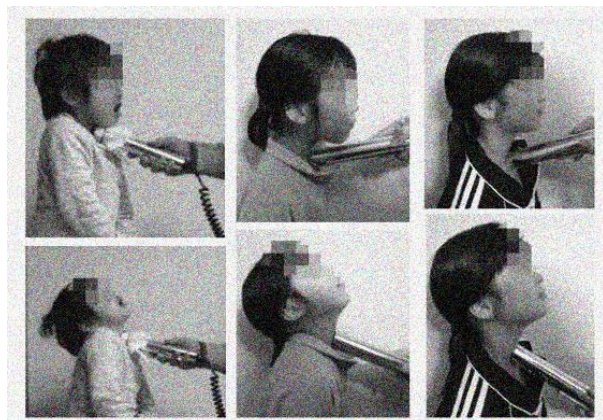


【画像引用先】

- 原子力規制庁 令和3年度放射線対策委託費「緊急時の甲状腺モニタリング実施マニュアル案作成等」事業報告書 (<https://www.nra.go.jp/data/000404693.pdf>)
- 原子力規制庁 放射線安全規制研究 平成29年度採択課題「原子力事故時における近隣住民の確実な初期内部被ばく線量の把握に向けた包括的個人内部被ばくモニタリングの確立」成果報告書 (https://www.nra.go.jp/activity/houshasenbougo/kenseika_houkokusyo.html#section10)
- 内閣府(原子力防災)/原子力規制庁 甲状腺被ばく線量モニタリング実施マニュアル(<https://www.nra.go.jp/data/000434068.pdf>)

甲状腺簡易測定の様子を示しています。上の写真にあるように、測定者及び被検者ともに椅子に座り、測定者は被検者と対座する形で測定を行います。測定補助者は指示値の記録やプローブの養生、測定中のプローブ位置の確認などを行います。測定者は頸部測定の際に、写真に示すように腕を伸ばした状態になるので、疲労が蓄積しやすい点に注意下さい。適宜、測定補助者と交代して測定を行ってください。下の写真は頸部測定の際のプローブの位置を示しています。プローブの先端全面を被検者の鎖骨中央かつ喉ぼとけの下あたりに軽く密着させて、測定中はプローブをなるべく保持します。

子どもの甲状腺測定



(左から, 4歳男児, 8歳女児, 11歳女児)



(1歳男児)



就学前小児の甲状腺測定の課題がEUのCATHyMARAプロジェクトでも認識

<https://www.researchgate.net/project/CATHyMARA-Child-and-Adult-Thyroid-Monitoring-After-Reactor-Accident-OPERRA-Project-number-604984>

子どもの甲状腺計測は、特に乳幼児では困難となる場合があります。乳児では頸部にプローブを密着させること自体が難しく、就学前小児では測定中にじっとできない等の状況があります。そのため、原子力規制庁と内閣府が策定した甲状腺モニタリング実施マニュアルでは、測定が困難な場合には、行動を共にした保護者等を代わりに測定し、その結果から対象者の線量を推定することとしています。乳幼児に特化した専用の甲状腺モニタの開発の必要性は海外でも認識されており、現在、量研機構において開発が進められています。

甲状腺(内部被ばく)線量の計算

1. 摂取量(Bq)= 測定値【甲状腺残留量】(Bq)÷残留率
2. 甲状腺線量(mSv)= 摂取量(Bq)×線量係数(mSv/Bq)

吸入摂取時に用いる線量係数(単位摂取量BqあたりのmSv)

核種	評価対象	乳児	1歳児	5歳児	10歳児	15歳児	成人
¹³⁴ Cs	全身	1.1E-05	7.3E-06	5.2E-06	5.3E-06	6.3E-06	6.6E-06
¹³⁷ Cs	全身	8.8E-06	5.4E-06	3.6E-06	3.7E-06	4.4E-06	4.6E-06
¹³¹ I	全身	1.7E-04	1.6E-04	9.4E-05	4.8E-05	3.1E-05	2.0E-05
	甲状腺	3.3E-03	3.2E-03	1.9E-03	9.5E-04	6.2E-04	3.9E-04

※吸収タイプはいずれもタイプF, ¹³¹Iの化学形は元素状ヨウ素の数値を引用(ICRP Publ.71)

甲状腺線量の計算方法について示します。計算は2段階あり、最初は測定値から摂取量を計算、次に摂取量に線量係数を乗じて甲状腺線量などの内部被ばく線量を算出することができます。スライドの表にはI-131の他に、比較としてCs-134とCs-137の吸入摂取時の線量係数を示しています。I-131は全身よりも甲状腺が重要なので、甲状腺（等価）線量を評価します。I-131はCsと比べて線量係数が高いため、原子力災害時における公衆の内部被ばくでは特に注意が必要です。

【参考資料】

International Commission on Radiological Protection. Age dependent doses to the members of the public from intake of radionuclides—part 4 inhalation dose coefficients. Oxford: ICRP; Publication 71, Ann. ICRP 25(3–4); 1995.

International Commission on Radiological Protection. ICRP database of dose coefficients: workers and members of the public version 3. Oxford: ICRP; ICRP CD1; 1998.

甲状腺残留率－ ^{131}I (元素状ヨウ素)の吸入摂取の場合－

I-131甲状腺残留率（吸入摂取，蒸気） Bq/Bq intake						
Day	0y	1y	5y	10y	15y	Adult
1	2.21E-01	2.24E-01	2.26E-01	2.29E-01	2.29E-01	2.29E-01
2	2.06E-01	2.10E-01	2.15E-01	2.21E-01	2.22E-01	2.23E-01
3	1.80E-01	1.86E-01	1.93E-01	2.02E-01	2.02E-01	2.03E-01
4	1.57E-01	1.64E-01	1.73E-01	1.83E-01	1.84E-01	1.85E-01
5	1.37E-01	1.45E-01	1.54E-01	1.66E-01	1.67E-01	1.68E-01
6	1.20E-01	1.29E-01	1.38E-01	1.51E-01	1.52E-01	1.53E-01
7	1.05E-01	1.14E-01	1.24E-01	1.37E-01	1.38E-01	1.39E-01
8	9.24E-02	1.01E-01	1.11E-01	1.24E-01	1.26E-01	1.27E-01
9	8.09E-02	8.96E-02	9.95E-02	1.13E-01	1.14E-01	1.15E-01
10	7.09E-02	7.94E-02	8.92E-02	1.02E-01	1.04E-01	1.05E-01
11	6.22E-02	7.04E-02	8.00E-02	9.31E-02	9.44E-02	9.57E-02
12	5.45E-02	6.24E-02	7.18E-02	8.46E-02	8.59E-02	8.71E-02
13	4.78E-02	5.53E-02	6.44E-02	7.68E-02	7.81E-02	7.93E-02
14	4.19E-02	4.90E-02	5.77E-02	6.98E-02	7.11E-02	7.22E-02
15	3.67E-02	4.35E-02	5.18E-02	6.35E-02	6.47E-02	6.58E-02
16	3.22E-02	3.86E-02	4.65E-02	5.77E-02	5.88E-02	5.99E-02
17	2.82E-02	3.42E-02	4.17E-02	5.24E-02	5.35E-02	5.45E-02
18	2.47E-02	3.03E-02	3.74E-02	4.76E-02	4.87E-02	4.97E-02
19	2.17E-02	2.69E-02	3.35E-02	4.33E-02	4.43E-02	4.52E-02
20	1.90E-02	2.38E-02	3.01E-02	3.94E-02	4.03E-02	4.12E-02

※表中のデータはMONDAL3に収録

甲状腺線量の計算に必要なI-131の甲状腺残留率を表に示しています。年齢が若いほど、I-131の甲状腺残留率は低くなります。また、摂取からの時間が経過するにつれて、甲状腺残留率の年齢差異が大きくなってきます。

※表のデータは、原子力規制庁 放射線安全規制研究 平成29年度採択課題「原子力事故時における近隣住民の確実な初期内部被ばく線量の把握に向けた包括的個人内部被ばくモニタリングの確立」 平成31年度成果報告書 付録Bにも掲載しています。

<https://www.nra.go.jp/data/000330776.pdf>

甲状腺線量早見表

原子力規制庁 放射線安全規制研究 平成29年度採択課題「原子力事故時における近隣住民の確実な初期内部被ばく線量の把握に向けた包括的個人内部被ばくモニタリングの確立」 平成31年度成果報告書 付録B「NaI(Tl)サーバイメータを用いた甲状腺簡易測定マニュアル」から引用

甲状腺等価線量100 mSvに相当するNaI(Tl)サーバイメータの応答 ($\mu\text{Sv h}^{-1}$) ※正味値

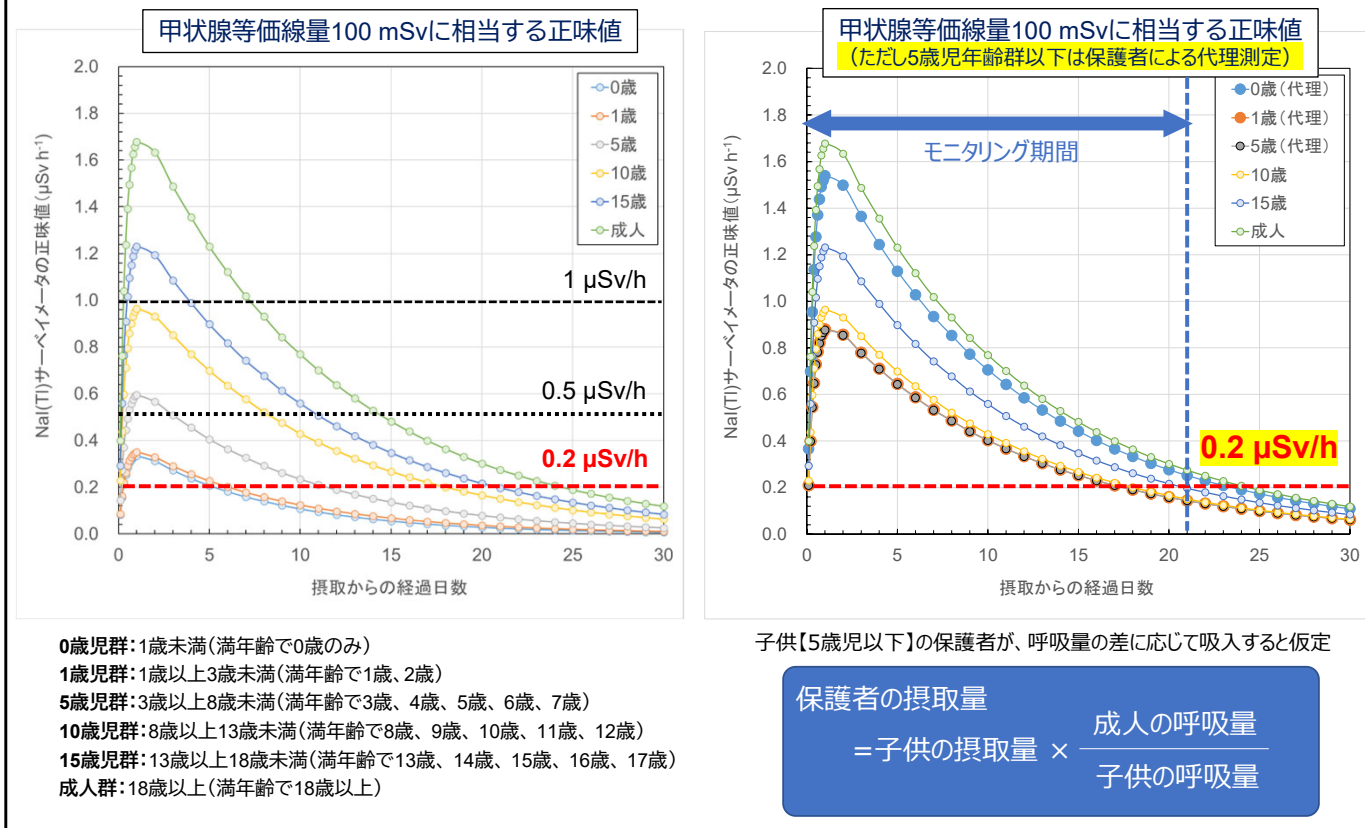
経過日数	0歳児	1歳児	5歳児	10歳児	15歳児	成人
1	3.3E-01	3.5E-01	5.9E-01	9.6E-01	1.2E+00	1.7E+00
2	3.1E-01	3.3E-01	5.7E-01	9.3E-01	1.2E+00	1.6E+00
3	2.7E-01	2.9E-01	5.1E-01	8.5E-01	1.1E+00	1.5E+00
4	2.4E-01	2.6E-01	4.6E-01	7.7E-01	9.9E-01	1.4E+00
5	2.1E-01	2.3E-01	4.1E-01	7.0E-01	9.0E-01	1.2E+00
6	1.8E-01	2.0E-01	3.6E-01	6.4E-01	8.2E-01	1.1E+00
7	1.6E-01	1.8E-01	3.3E-01	5.8E-01	7.4E-01	1.0E+00
8	1.4E-01	1.6E-01	2.9E-01	5.2E-01	6.8E-01	9.3E-01
9	1.2E-01	1.4E-01	2.6E-01	4.8E-01	6.1E-01	8.4E-01
10	1.1E-01	1.2E-01	2.3E-01	4.3E-01	5.6E-01	7.7E-01
11	9.4E-02	1.1E-01	2.1E-01	3.9E-01	5.1E-01	7.0E-01
12	8.3E-02	9.8E-02	1.9E-01	3.6E-01	4.6E-01	6.4E-01
13	7.2E-02	8.6E-02	1.7E-01	3.2E-01	4.2E-01	5.8E-01
14	6.3E-02	7.7E-02	1.5E-01	2.9E-01	3.8E-01	5.3E-01
15	5.6E-02	6.8E-02	1.4E-01	2.7E-01	3.5E-01	4.8E-01
16	4.9E-02	6.0E-02	1.2E-01	2.4E-01	3.2E-01	4.4E-01
17	4.3E-02	5.3E-02	1.1E-01	2.2E-01	2.9E-01	4.0E-01
18	3.7E-02	4.7E-02	9.8E-02	2.0E-01	2.6E-01	3.6E-01
19	3.3E-02	4.2E-02	8.8E-02	1.8E-01	2.4E-01	3.3E-01
20	2.9E-02	3.7E-02	7.9E-02	1.7E-01	2.2E-01	3.0E-01

NaI(Tl)サーバイメータの換算係数は次のとおり: 20 kBq/ $\mu\text{Sv h}^{-1}$ (0-5歳児), 25 kBq/ $\mu\text{Sv h}^{-1}$ (10歳児), 30 kBq/ $\mu\text{Sv h}^{-1}$ (15歳児), 35 kBq/ $\mu\text{Sv h}^{-1}$ (成人)

甲状腺等価線量100mSvに相当する摂取があったときのNaI(Tl)サーバイメータの応答の経過時間の変化として示しています。スクリーニングレベル以上の応答である箇所をオレンジ色にしています。この結果から、5歳児群以下の年齢群以下では、3週間よりも大分前にスクリーニングレベルよりも応答が低くなります。すなわち、100mSvを識別するには、もっとスクリーニングレベルを低く設定する必要があることを意味しています。しかしながら、運用上の課題もあることから、5歳児年齢群以下では、行動を共にした保護者等の甲状腺量を参考にして、小児の甲状腺量を推定することとしています。

※表のデータは、原子力規制庁 放射線安全規制研究 平成29年度採択課題「原子力事故時における近隣住民の確実な初期内部被ばく線量の把握に向けた包括的個人内部被ばくモニタリングの確立」 平成31年度成果報告書 付録Bにも掲載しています。
<https://www.nra.go.jp/data/000330776.pdf>

甲状腺簡易測定に用いるスクリーニングレベル



内閣府（原子力防災担当）原子力規制庁の甲状腺被ばく線量モニタリング実施マニュアルでは、甲状腺簡易測定に用いるスクリーニングレベルは年齢・性別に関係なく一律に $0.2\mu\text{Sv/h}$ に設定されました。前スライドで示したように5歳年齢群以下ではスクリーニングレベルを適用することが困難であるため（左図），行動を共にした保護者等から線量推定することを述べましたが，成人と子供の呼吸量の違いを考慮することで可能です。また，保護者等にスクリーニングレベルを合理的に適用することも可能です（右図）。

【参考資料】

Kim et al. Screening levels of TCS-172 NaI(Tl) survey meters used for direct thyroid measurements in nuclear disasters. Radiat. Prot. Dosim. 199 (15-16): 1989-1993; 2023.

原子力規制庁 第3回緊急時の甲状腺被ばく線量モニタリングに関する検討チーム

https://www.nra.go.jp/disclosure/committee/other_meetings/20210527_01.html

配布資料 資料5 - 2 スクリーニングレベルについて

<https://www.nra.go.jp/data/000353495.pdf>

おわりに

- 原子力災害時における公衆被ばくに関して、放射性ヨウ素による甲状腺内部被ばくが重要(特に小児)
- 放射性ヨウ素の物理半減期は短いので、曝露後早期の甲状腺測定が不可欠
- 様々な年齢群の公衆が甲状腺測定の対象となる
- 実効的かつ堅牢な甲状腺測定の体制づくりが喫緊の課題

本講義のまとめです。

- ・ 原子力災害時における公衆被ばくに関して、放射性ヨウ素による甲状腺内部被ばくが重要(特に小児)…チヨルノービリ原発事故に伴う調査においても小児の甲状腺被ばくによる健康リスクが確認されており、原子力災害時における公衆の被ばくモニタリングでは小児の甲状腺被ばく線量測定が特に重要です。
- ・ 放射性ヨウ素の物理半減期は短いので、曝露後早期の甲状腺測定が不可欠…I-131の物理学的半減期が約8日と短いことから、検出できなくなる前に甲状腺被ばく線量モニタリングを開始することが必要です。
- ・ 様々な年齢群の公衆が甲状腺測定の対象となる…現状の課題としては、放射線リスクの高い乳幼児に特化した甲状腺モニタの開発ですが、現在進められており、早期の現場導入が期待されます。
- ・ 実効的かつ堅牢な甲状腺測定の体制づくりが喫緊の課題…避難、一時移転、避難退域時検査などの一連の放射線防護スキーム全体で甲状腺被ばく線量モニタリングを位置付け、実施体制の準備が必要です。

以下, 參考資料

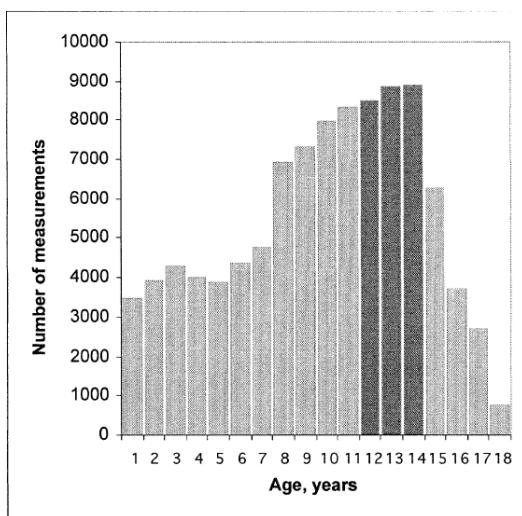


FIG. 1. Distribution of the numbers of direct thyroid measurements made in Ukraine in 1986 according to age at the time of the accident.

ウクライナで実施された甲状腺モニタリング
の年齢分布

TABLE 5
Distributions of Instrumentally Individualized
Thyroid Doses for Age Groups of Children from
Settlements in Different Areas

Category, location, and age group	Number of children	Percentage ^a of children with thyroid dose (Gy) in interval				
		≤0.2	>0.2-1	>1-5	>5-10	>10
Settlements not evacuated						
Rural areas						
1-4 years	9,119	40	43	15	1.7	0.87
5-9 years	13,460	62	31	6.5	0.44	0.07
10-18 years	26,904	73	23	3.7	0.16	<0.01
Urban areas						
1-4 years	5,147	58	33	7.5	1.0	0.70
5-9 years	11,421	82	15	2.6	0.23	0.04
10-18 years	24,442	91	7.7	1.4	0.12	<0.01
Evacuated settlements						
1-4 years	1,475	30	45	22	2.7	1.0
5-9 years	2,432	55	36	8.4	0.58	0.08
10-18 years	4,732	73	23	3.6	0.13	0.02

^a Totals for each age group differ from 100% because of rounding of individual entries.

甲状腺モニタリングから評価された
年齢群毎の甲状腺線量分布

個人の甲状腺モニタリングから評価された甲状腺線量分布を基礎として,
個人の実測値が得られていない地域の線量を推計(線量再構築)

18歳以下の甲状腺吸収線量を重点的に評価・解析

チヨルノービリ原発関連論文(2)

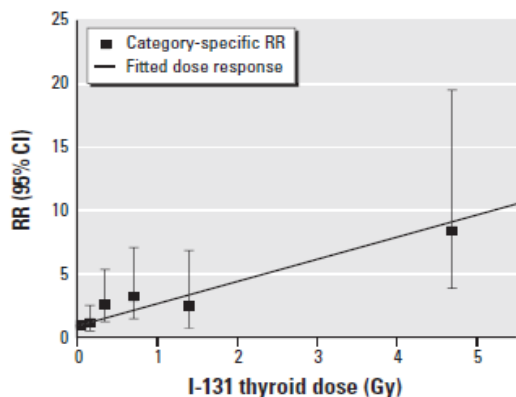


Figure 1. Dose-response relationship between incident thyroid cancers and I-131 dose estimates in a cohort study of thyroid cancer and other thyroid diseases after the Chernobyl accident in Ukraine. The solid line represents fitted RRs based on the linear ERR model; data points and error bars represent category-specific RRs and 95% CIs for mean I-131 dose per category. The fitted linear dose response was adjusted to pass through the lowest I-131 category. The ERR was adjusted for sex, oblast of residence at the first screening examination, and continuous attained age.

Brenner et al. Environ. Health Perspect 119, 933-939 (2011)

甲状腺発がんリスクの解析
➤ 年齢が若いほどリスクが高い

Table 2. Effect modification of the ERR of incident thyroid cancer per gray of exposure according to selected characteristics.

Characteristic	PY (n = 73,004)	Cases (n = 65)	ERR per gray (95% CI)
Sex			
Male	35,240	28	1.20 (0.03 to 6.74) ^a
Female	37,764	37	2.66 (0.46 to 12.49)
p-Value ^b			0.40
Age at exposure (years)			
0 to < 4	21,236	18	7.43 (< 1.67 to NE) ^c
4 to < 12	34,941	31	1.57 (-0.02 to 8.51)
12 to < 18	16,827	16	0.69 (< -0.04 to 6.31)
p-Value			0.40
Attained age (years)			
< 22	26,440	16	2.08 (0.10 to 13.65) ^d
22 to < 30	34,374	25	1.83 (0.01 to 11.97)
30 to < 40	12,190	24	0.74 (< 0.06 to 4.95)
p-Value			0.71
Time since exposure (years) ^e			
< 16.7	1,209	21	2.85 (0.08 to 44.31) ^f
16.7 to < 20.0	40,385	24	1.31 (0.05 to 7.18)
20.0-22.4	31,409	20	3.69 (0.43 to 42.80)
p-Value			0.60
Oblast of residence ^g			
Zhytomyr	20,254 ^h	11	0.06 (< -0.02 to 1.08) ^b
Kyiv	14,710	15	2.70 (0.27 to 27.52)
Chemihiv	37,988	39	4.07 (0.95 to 16.80)
p-Value			0.008
Oblast of residence in 1986 ^g			
Zhytomyr	20,816	12	0.08 (< -0.01 to 1.27) ^b
Kyiv	13,443	11	1.22 (-0.02 to 12.59)
Chemihiv	38,746	42	5.20 (1.45 to 21.40)
p-Value			0.005
Iodine prophylaxis in May-June 1986 ^g			
No	51,674 ^h	50 ^h	2.11 (0.36 to 9.28) ^f
Yes	18,154	12	1.03 (< 0.08 to 9.84)
p-Value			0.56
Diffuse goiter ^{h,i}			
No	57,122	45	1.78 (0.33 to 6.41) ^f
Yes	15,882	20	2.07 (0.03 to 28.4)
p-Value			0.89
Serum TG (ng/mL) ^j			
< 15.0	30,845 ^h	20 ^h	1.58 (< 0.32 to 13.77) ^f
15.0 to < 31.0	20,687	21	1.89 (0.18 to 12.21)
31.0-643.0	16,108	21	2.58 (0.16 to 34.73)
p-Value			0.92
Serum TSH (mIU/L) ^j			
< 1.3	17,265 ^h	14 ^h	2.61 (0.06 to 30.89) ^f
1.3 to < 2.5	33,750	28	1.97 (0.06 to 12.30)
2.5-25.4	19,448	21	1.05 (0.02 to 7.60)
p-Value			0.74
Urinary iodine (μg/L) ^j			
< 34.0	22,674 ^h	20 ^h	0.60 (< -0.002 to 5.69) ^f
34.0 to < 50.0	15,573	18	3.72 (0.36 to 52.48)
50.0-750.3	28,153	22	2.23 (0.16 to 18.49)
p-Value			0.36

NE, not estimable.

^aAdjusted for attained age and oblast. ^bp-Value for tests of homogeneity of linear trends across categories of interest or 1 of interaction test between dose and continuous variable. ^cAdjusted for sex, attained age, and oblast. ^dAdjusted for sex, oblast, and time since exposure. ^eDifference between the exit date (date of thyroid surgery or last screening examination for those not operated upon) and date of the accident. ^fReported at interview or detected during the first screening examination. ^gPerson-years or cancer cases may not add up to column total because of missing values (excluded from analyses). ^hAdjusted for sex and attained age. ⁱBased on palpation by endocrinologist and defined as grade 0, 1, or 2. In the analysis, grades 1 and 2 were combined as the "yes" category.

チヨルノービリ原発関連論文(3)

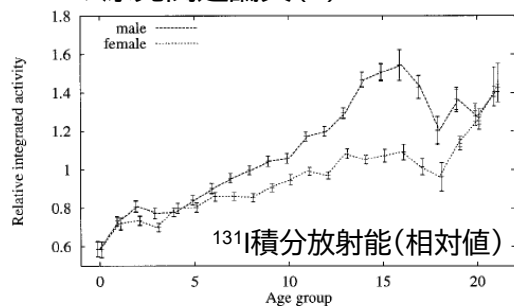


Fig. 6. Age-sex dependence of the integrated activities. The narrow uncertainties shown carry just the uncertainties of Fig. 1; the wide uncertainties contain also those from the correction factors. They play a noticeable role only for the oldest age groups.

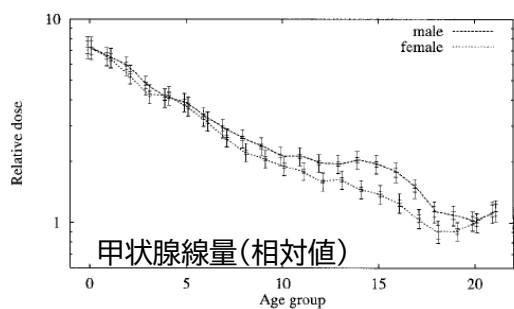


Fig. 7. Age-sex dependence of the thyroid doses. The narrow uncertainties shown carry just the uncertainties of Fig. 6; the wide uncertainties contain also those from the mass function.

Heidenreich et al. Health Phys. 80, 242-250 (2001)

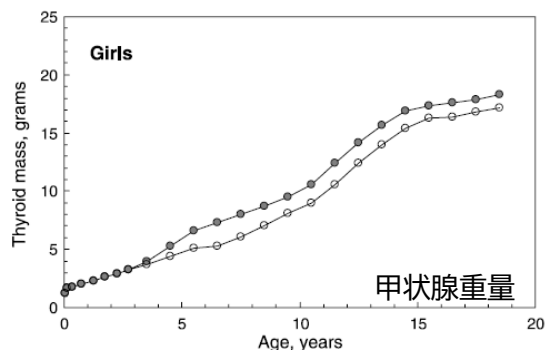
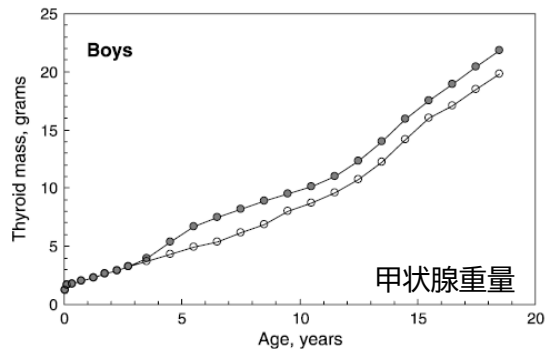
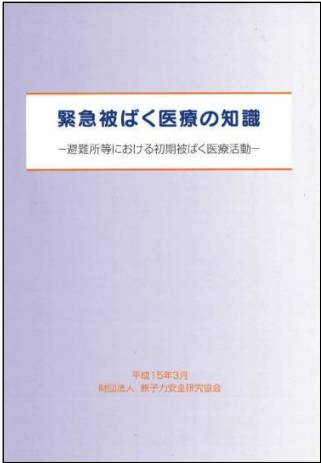


Fig. 7. Age-dependent thyroid mass for boys and girls of Kyiv and Chernihiv Oblasts (filled circles) and Zhytomyr Oblast (open circles).

Likhtarov et al. Health Phys. 106, 370-396 (2014)

甲状腺吸収線量の正確な評価のために集団の甲状腺重量の計測を実施

甲状腺中放射性ヨウ素の測定・検査マニュアル(1)



換算係数
($\mu\text{Sv/h} \rightarrow {}^{131}\text{I Bq}$)

第4章 参考

3. 頸部甲状腺に沈着した放射性ヨウ素の測定

頸部甲状腺部位の測定は、放射性ヨウ素の体内量のさらに精密な測定、医学的な診察等を行う二次被ばく医療のためのスクリーニング測定の一部として行われます。

ここでは、頸部甲状腺部位の測定方法と、そのために使用される代表的な1" ϕ 1" NaI(TL)シンチレーションサーベイメータについて述べます。

(1) 頸部甲状腺汚染スクリーニングの準備

1) 単位の表示が $\mu\text{Sv/h}$ の Σ 線量率測定用NaIシンチレーションサーベイメータを準備します。

NaI(TL)シンチレーションサーベイメータ

2) サーベイメータの検出器の先端を頸部甲状腺部位に密着させた場合の指示値 ($\mu\text{Sv/h}$)から ${}^{131}\text{I}$ の甲状腺残留量(Bq)を求める換算係数[Bq/($\mu\text{Sv/h}$)]は、NaIシンチレーションサーベイメータの型式に従い次の値を用いるが適切です。

NaIシンチレーションサーベイメータ (ディスタリレベル 50KeV,100KeV)	20 KBq/($\mu\text{Sv/h}$)
NaIシンチレーションサーベイメータ (DBM型)	30 KBq/($\mu\text{Sv/h}$)

ただし、サーベイメータの校正は ${}^{137}\text{Cs}$ の Σ 線を円筒形の検出器の軸方向から照射することによって行われているとします。

34

3) 別法として、アクリル製の甲状腺用ファントムであるオリスファントムに模擬ヨウ素線源 (${}^{137}\text{Ba}$ と ${}^{137}\text{Cs}$ を混合した線源により ${}^{131}\text{I}$ の Σ 線スペクトルを模擬し、 ${}^{131}\text{I}$ 相当の放射能が値づけされている。日本アイソトープ協会から購入できる。)を挿入して、換算係数を求める方法があります。

甲状腺用ファントムによる値づけ

(2) 頸部甲状腺部位の測定の方法

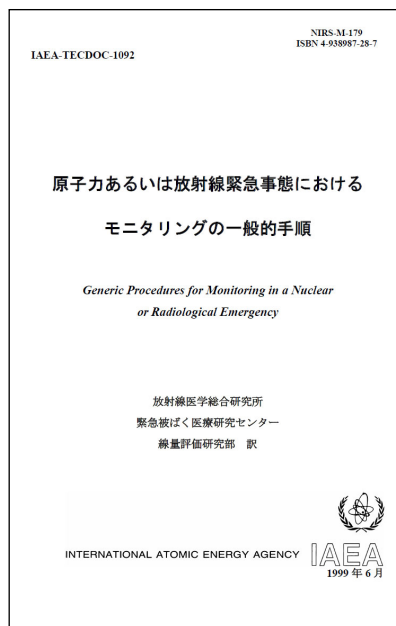
1) 近くに輻射や汚染のないとき、測定場所の Σ 線のバックグラウンド線量率を測定します。

2) NaIシンチレーションサーベイメータの検出器の先端を、男性では甲状腺脊 ("のどはどけ"のある位置)の下に付け、女性では頸部中央に付けて密着させて測定します。測定は、20秒間以上その状態を保持した後、指針のふれの平均 ($\mu\text{Sv/h}$)を読み取って、記録します。そして、指示値とスクリーニングレベルに対応する値 ($\mu\text{Sv/h}$)と比較します。(スクリーニングレベルは、測定時3KBqです。)

3) 読み取った指示値 ($\mu\text{Sv/h}$)からバックグラウンド線量率を引き、その答えに換算係数を乗じ、甲状腺における ${}^{131}\text{I}$ 残留量を算出します。

原子力安全研究協会, 緊急被ばく医療の知識
(現在ダウンロード不可)

甲状腺中放射性ヨウ素の測定・検査マニュアル(2)



IAEA, TECDOC-1092
(邦訳版:NIRS-M-179)

個人モニタリング/除染チームにより実施される	手順 A8b	1/2 ページ
	甲状腺のモニタリング	

目的

放射性ヨウ素の取り込みに対する甲状腺モニタリング

考察

吸入あるいは経口摂取によって取り込まれたヨウ素は、その本来の機能が要求される場所である甲状腺に集積する。身体に取り込まれた放射性ヨウ素も従って甲状腺に集まり、甲状腺癌を引き起こすことがある。もし安定（非放射性）ヨウ素が被ばく前あるいは被ばく後最初の2、3時間のうちに与えられれば、それは甲状腺を防御し（予防法）、放射性ヨウ素の取り込みを減少させ、そしてその結果放射性ヨウ素を急速に身体から排泄させる。ヨウ素による予防法の完全な記載は[11]に示されている。

警戒/制限

野外チームは放射線防護の訓練をするべきであり、彼らが直面する危険性を理解するべきである。全ての野外チームのメンバーは厳密に手順 A9 に従うべきである。
測定チームは医療チームへの補助をする場合を除いては、一般集団に安定ヨウ素を投与することに関与するべきではない。

装備/供給

- NaI(Tl)検出器汚染モニター
- 全ての対応チームへの共通装備（チェックリスト A0）
- 個人のモニタリングと除染チームの装備（チェック

ステップ 1

NaI 検出器汚染モニターで品質管理器具をチェックしなさい（手順 A0）。

ステップ 2

首の横に NaI(Tl)検出器の位置を取り、咽頭隆起と輪状突起（首の前の voice box の付近にある堅い骨—図 A4）の間をモニターしなさい。固定した位置、再現性ある位置を保つため、検出器で首に触れなさい。検出器の汚染をさけるためにプラスチックシートやその辺のティッシュペーパーを用いなさい。

注釈

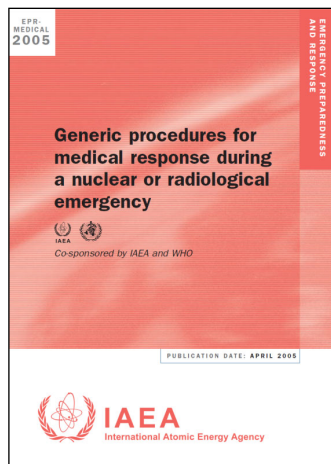
バックグラウンドの抑制のために検出部の鉛コリメータの使用が推奨される。

ステップ 3

ワークシート A6 に線量率計で観察されたカウント率を記録しなさい。甲状腺の検査の間にも観察されたカウント率が“通常”のバックグラウンドのカウント率より高ければ、甲状腺は可能性として放射性ヨウ素を取り込んでしまっていると考えられるべきである。つまり、もし観察値からバックグラウンドを引いた値が統計学的に有意にプラスであるかどうかということである。その時、被ばく者は安定ヨウ素のタブレットを与えられ、詳しい評価のために適当な医療施設に移されるべきである。もし、甲状腺検査がネガティブであったら解放されるであろう。

測定ジオメトリの再現性の観点から
プローブを頸部に密着させることを推奨

甲状腺中放射性ヨウ素の測定・検査マニュアル(3)



IAEA, EPR-Medical 2005

Performed by: Emergency Team/ Health/Medical Physician	PROCEDURE F1 ASSESSMENT OF DOSE TO THYROID GLAND	Page 1 of 3
---	--	-------------

Purpose
To provide guidance on assessment of dose to thyroid gland.

Discussion
The thyroid gland is a critical organ in emergencies resulting in the release of radioactive iodine (^{131}I and ^{133}I) in the thyroid. Therefore, prompt action should be taken to measure and obtain the necessary data for dose assessment.

NOTE
Use Procedure A8b of the IAEA-TECDOC-1092 for guidance on monitoring of iodine uptake [4].

NOTE
It is recommended to use special equipment calibrated for measuring (^{131}I and ^{133}I) in the thyroid. If this is not possible, use available recording the parameters which characterize the performed measurements will be used for *ex post facto* estimation of the calibration coefficients: equipment, position of equipment while measuring, distance from the thyroid, etc.

Input

- Data on activity of radioiodine in thyroid measured in t days after exposure (Worksheets A1, C1, C2 and/or D1).
- Data on isotope composition of the radioiodine released in the environment (A1, C1, C2 and/or D1).

Output

- Results of thyroid dose assessment to the individual (Worksheet F1).
- Recommendation of further actions.

Step 1
Estimate the intake of isotope R_i of radioiodine (^{131}I or ^{133}I) in the thyroid using the following formula:

$$I_{\text{thy}}(t) = \frac{M_{\text{thy}}(t)}{f_{\text{thy}}(t)}$$

Where:

- $I_{\text{thy}}(t)$ = intake of isotope R_i of radioiodine in thyroid at the time t , [Bq]
- $M_{\text{thy}}(t)$ = time moment of single short-term intake, [days]

NOTE
It is recommended to use special equipment calibrated for measuring activity of radioiodine (^{131}I and ^{133}I) in the thyroid. If this is not possible, use available equipment noting and recording the parameters which characterize the performed measurements. These parameters will be used for *ex post facto* estimation of the calibration coefficients. Examples are: type of equipment, position of equipment while measuring, distance from the neck, use of collimator, etc.

NOTE
If Worksheets C1 and/or D1 represent the only data on thyroid survey (gamma radiation count rates), it is necessary to estimate the measured activity of radioiodine in thyroid. In a reactor emergency, when a mixture of radionuclides has been released to the environment, it is necessary to measure count rate above neck and thigh (to eliminate input from other radionuclides in the body, e.g., ^{134}Cs or ^{137}Cs in count rate). The following formula is to be used to estimate the measured activity of radioiodine in thyroid:

$$M_{\text{thy}}(t) = (n_n - n_t) \times K$$

Where

- $M_{\text{thy}}(t)$ = the activity retained in thyroid [Bq] at time t_m after intake
- n_n = gamma-radiation count rate from the neck [unit of count rate]
- n_t = gamma-radiation count rate from the thigh [unit of count rate]
- K = calibration coefficient [Bq/unit of count rate]

In an emergency with involvement of radioiodine, use only the following formula to estimate the measured activity of radioiodine in thyroid:

$$M_{\text{thy}}(t) = (n_n - n_b) \times K$$

Where

- $M_{\text{thy}}(t)$ = the activity retained in thyroid [Bq] at time t_m after intake
- n_n = gamma-radiation count rate from the neck [unit of count rate]
- n_b = background gamma-radiation count rate in place of measurement [unit of count rate]
- K = calibration coefficient [Bq/unit of count rate]

大腿部でバックグラウンドを測定することを推奨

110

甲状腺中放射性ヨウ素の測定・検査マニュアル(4)

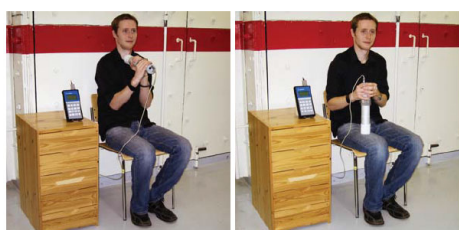


Figure F14a. Measurement of ^{131}I in the thyroid.

Photos: STUK.

These photographs illustrate the method, but when responding to an incident, additional measures would need to be employed, i.e. the detector would be wrapped in plastic film, and the subject would wear disposable gloves.

Figure F14b. Background measurement to be used for the thyroid measurement of a person. This is important for later dose assessment.

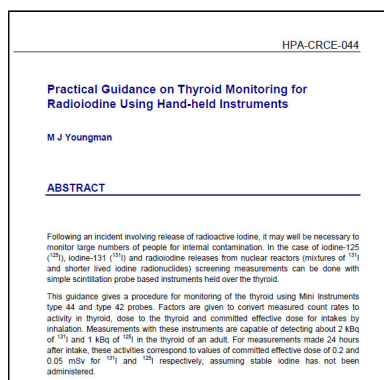
F.80 Thyroid monitoring with hand-held instruments

(PEOPLE MONITORING TEAM)

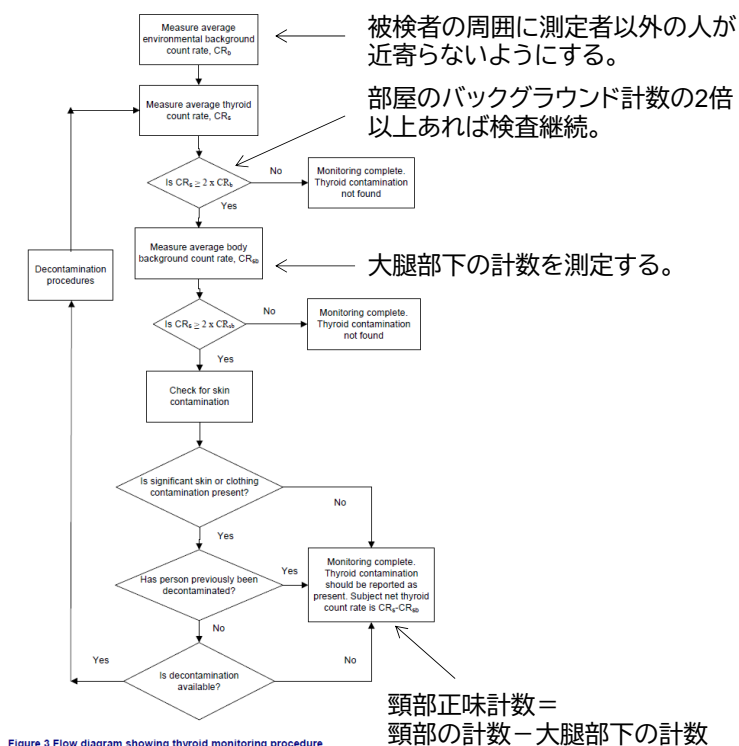
1. Choose a suitable area for the monitoring with as low a level of background radiation as possible. If this is not possible outdoors, try a building with high shielding factor, a basement or cellar. The facility should be large enough to make it possible to arrange separate waiting and monitoring rooms.
2. Arrange facility for measurement and for handling the people to be measured. Establish waiting room and monitoring area that should be kept free of contamination. Cover chairs with plastic or other material that can easily be changed.
3. Prepare the monitoring equipment. Preferably use NaI or CsI detector. Provide instrument manuals.
4. Switch on the monitor.
5. Set measuring time (100 seconds or the standard for the instrument used).
6. Do an environmental background measurement.
7. Do a reference measurement on a non-contaminated person, if possible.
8. Register the name of the person to be monitored and other information indicated in the registry form [Annex 3].
9. Shield the detector with a plastic bag which should be replaced after each measurement.
10. Keep the detector close to the persons neck when performing the thyroid measurement [Figure F14a, Information F.80].
11. Perform a background measurement, asking the person to keep the detector resting on the thigh as shown in Figure F14b in Information F.80.
12. Record the results and fill in the registry form.
13. Check that the form is completed correctly.
14. Inform the person monitored about the result.
15. Advise the person on suitable follow up actions.

<http://www.tmthandbook.org/>

甲状腺中放射性ヨウ素の測定・検査マニュアル(5)



プローブは頸部に近接させる
(計数率が高い場合は10 cm離す)



https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/337139/HPA-CRCE-044_for_website.pdf

【参考】NaI(Tl)サーベイメータの換算係数

各年齢群の数学ファントムに対する校正定数(TCS-172)

Table 4. Age-specific conversion factors for the measuring device (^{131}I kBq [$\mu\text{Sv h}^{-1}\text{J}^{-1}$]).

Age group	Thyroid volume (cm^3)	Distance between the neck and the probe (mm)			Averaged ratio ^b
		0 (contact)	5	10	
3-mo-old (infant)	1.2	11.0 (0.46) ^a	15.2 (0.51) ^a	20.0 (0.56) ^a	(0.51)
1-y-old	1.7	12.4 (0.51)	16.7 (0.56)	21.7 (0.60)	(0.56)
5-y-old	3.3	13.8 (0.57)	18.4 (0.62)	23.6 (0.65)	(0.61)
10-y-old	7.6	17.9 (0.74)	22.9 (0.77)	28.7 (0.80)	(0.77)
15-y-old	11.9	21.1 (0.87)	26.6 (0.89)	32.7 (0.91)	(0.89)
Adult	19.9	24.2 (1.00)	29.8 (1.00)	36.0 (1.00)	(1.00)

^aNumbers in parentheses are the ratios of the values for each age group to that for adults.

^bNumbers in parentheses are averages of the ratios for different distances of 0, 5, and 10 mm.

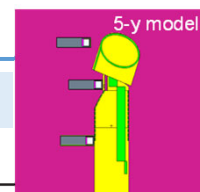
Table 5. Conversion factors obtained from experiments (kBq [$\mu\text{Sv h}^{-1}\text{J}^{-1}$]).

Phantom	ORINS-type (this study)	Neck phantom (previous dose assessments) (Fig. 2)	ORINS-type (JAERI 1993)
Radionuclide			
^{131}I	33 ± 2 (46 ± 3) ^a	30	32 ± 2 (44 ± 2) ^a
^{133}Ba	31 ± 2 (44 ± 2)		
^{137}Cs	27 ± 2 (38 ± 2)		
Note	The loaded volume of solution was 20 mL (20 g)	The loaded volume of solution was 19 mL (19 g) to imitate a 15 y old	Only TCS-161 was used

^aNumbers in parentheses are values in the case of the probe located 10 mm away from the phantom. Other numbers are for the contact geometry.

Error = standard deviation.

Kim et al. Health Phys. 2020.

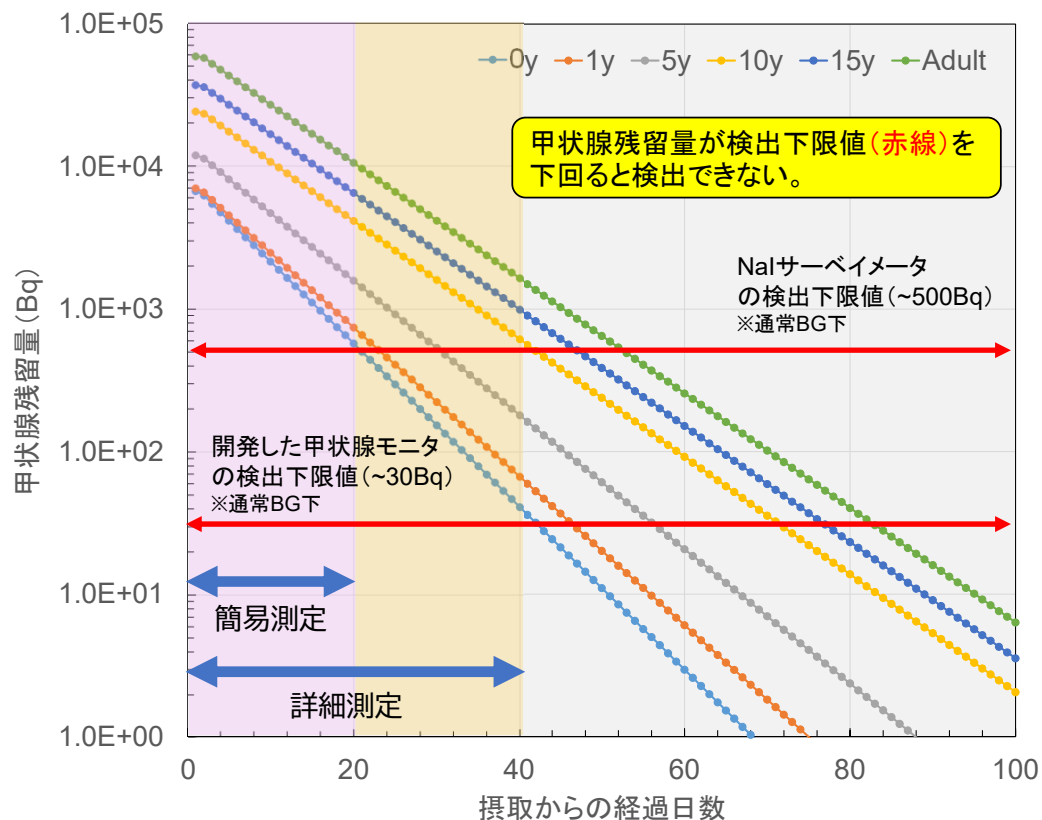


参考データになりますが，小児甲状腺被ばくスクリーニング検査の線量再評価を行った際に検討したNaI(Tl)サーベイメータの換算係数です。

【参考資料】

Kim et al. Reassessment of thyroid internal doses of 1,080 children examined in a screening survey after the 2011 Fukushima nuclear disaster. Health Phys. 118: 36-52; 2020.

甲状腺等価線量 100mSv に相当する ^{131}I 甲状腺残留量 (Bq) - 蒸気状ヨウ素の急性吸入摂取



【参考資料】

第3回緊急時の甲状腺被ばく線量モニタリングに関する検討チーム

資料6 - 1 開発した甲状腺モニタを用いた詳細測定の実施体制について【PDF : 355KB】

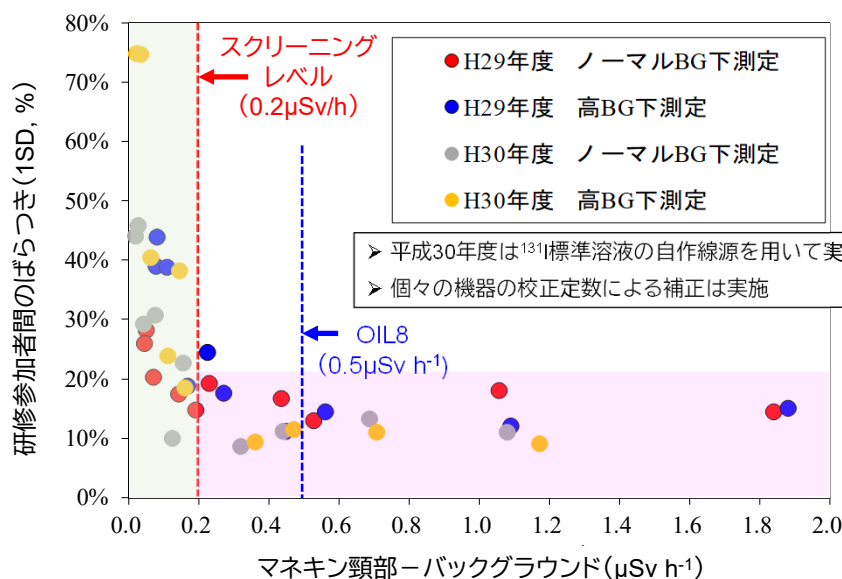
<https://www.nra.go.jp/data/000353489.pdf>

甲状腺簡易測定の精度

(甲状腺簡易測定)研修参加者が読み取った測定値のばらつきを調査



数MBq程度の密封線源を用いて
高BG環境($\sim 0.5 \mu\text{Sv h}^{-1}$)を模擬



- 比較的高いBG環境($\sim 0.5 \mu\text{Sv/h}$)においても、正味値が $0.2 \mu\text{Sv/h}$ 以上では、測定者の手技によらず安定した結果が得られる。
- 正味値が $0.2 \mu\text{Sv/h}$ 未満では、指示値の統計変動が顕著になり、ファクター2程度のばらつきを生じる。

甲状腺簡易測定の精度を検証するため、左の写真のように参加者に強度の異なる線源を内蔵したマネキン測定してもらい、参加者間の測定値のばらつきを調査しました。結果は右のグラフに示すとおりとなりました。グラフの横軸はサーベイメータで測定した正味値、すなわち、頸部の線量率からバックグラウンドの線量率を差し引いた数値、縦軸は研修参加者間の正味値のばらつきを示しています。なお、個々のサーベイメータの校正定数の違いは補正しています。このグラフから正味値が高くなるにつれて、ばらつきが減少し、およそ $0.2 \mu\text{Sv/h}$ 以上では次第に収束することが分かりました。この結果は次のように解釈することができます。①正味値が $0.2 \mu\text{Sv/h}$ 以上では、主として研修参加者のプローブの位置の違いによる正味値のばらつき、いわゆるランダムなエラーによるもの。②正味値が $0.2 \mu\text{Sv/h}$ 未満は、このランダムエラーに加えて、指示値の統計誤差が加わっており、正味値が小さくなるほど大きくなる。以上から、簡易測定において、スクリーニングレベルである $0.2 \mu\text{Sv/h}$ は20%程度の誤差で測定することができると示されました。ただし、 $0.2 \mu\text{Sv/h}$ 未満でバックグラウンドの線量率に近くなるにつれて、ファクター2程度の誤差が生じ得ることが分かりました。

【参考資料】

・原子力規制庁放射線安全規制研究推進事業 放射線防護基盤に係る研究「原子力事故時における近隣住民の 確実な初期内部被ばく線量の把握に向けた 包括的個人内部被ばくモニタリングの確立」研究評価委員会（事後評価）用資料
<https://www.nra.go.jp/data/000330773.pdf>

・Yajima et al. A screening survey exercise for thyroid internal exposure from radioiodine after a nuclear accident. Radiat. Prot. Dosim. 184: 483-488; 2019.

