

令和 2 年度事後評価 対象課題 研究成果概要資料

○目次

1. 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 P. 1
2. 事故等緊急時における内部被ばく線量迅速評価法の開発に関する研究 P. 16
3. 環境モニタリング線量計の現地校正に関する研究 P. 26
4. 放射線業務従事者に対する健康診断のあり方に関する検討 P. 34
5. 染色体線量評価手法の標準化に向けた画像解析技術に関する調査研究 P. 46
6. 円滑な規制運用のための水晶体の放射線防護に係るガイドラインの作成 P. 59

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

研究期間:2017-2019

量子科学技術研究開発機構

主任研究者

栗原 治

研究概要

課題名「放射性ヨウ素等の迅速・高精度な内部被ばくモニタリング手法に関する研究」
研究期間:2017-2019(3年間)

背景・目的(公募要領から要約)

- 原子力災害に伴う放射性ヨウ素による公衆の内部被ばくを早い段階で把握するために、**できるだけ沢山の人を対象とし、精度の高い線量測定を行う**必要がある。
- そのため、様々な年齢の公衆(**特に乳幼児**)に適用可能な測定手法、スペクトル分析による**核種同定**、**高バックグラウンド環境**に対応できる測定器の開発が必要である。

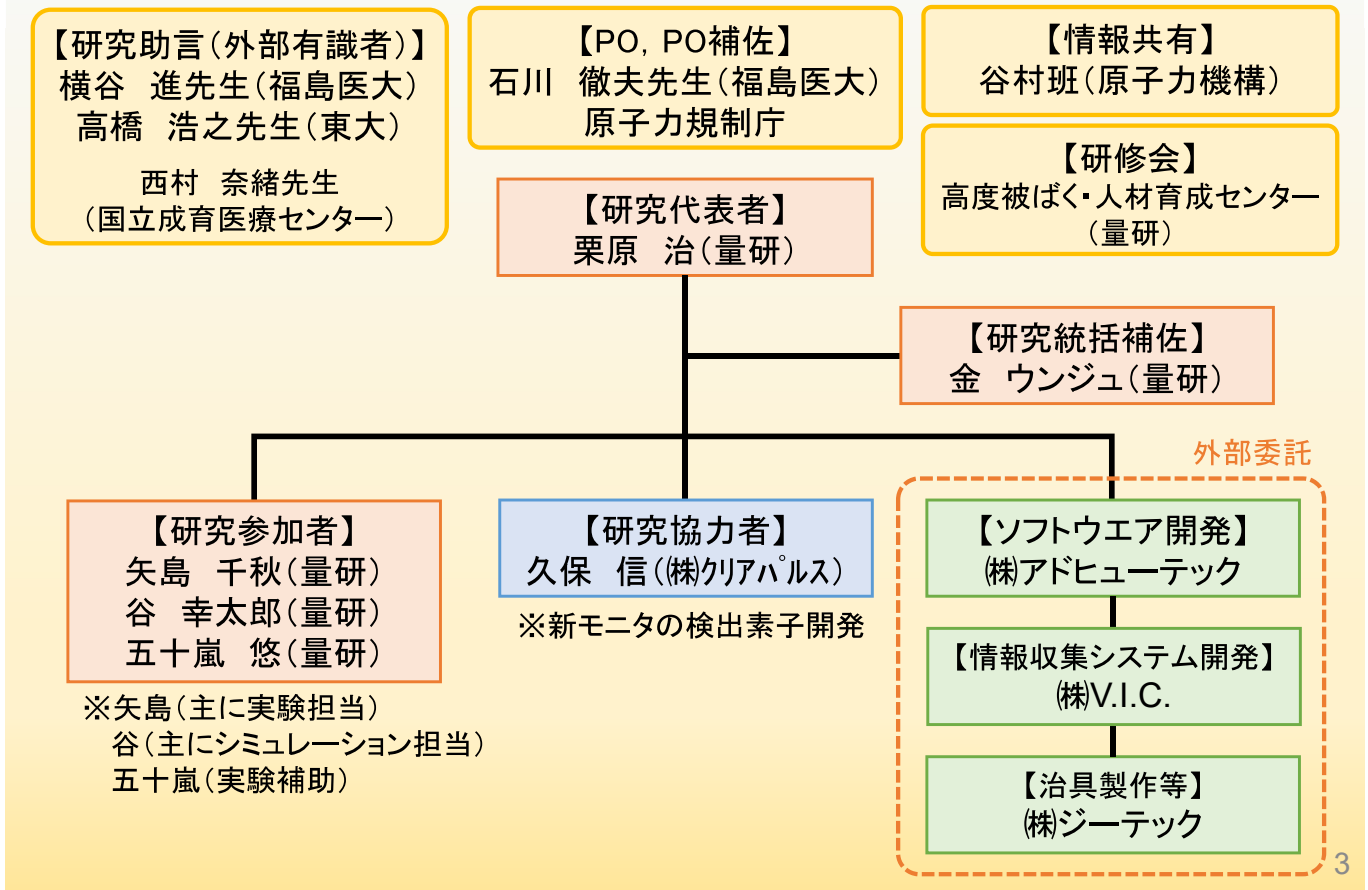
主な成果(ロードマップに従い、ほぼ当初の計画通り進捗)

- 乳幼児にも適用可能な甲状腺モニタ(実用機)を開発
- 円滑な内部被ばく線量評価のための情報収集システムの開発
- 測定マニュアルの整備及び甲状腺内部被ばく検査運用の検討(海外調査)

期待される成果

原子力災害時の公衆の確実な内部被ばく線量の把握に貢献

研究実施体制(最終年度)



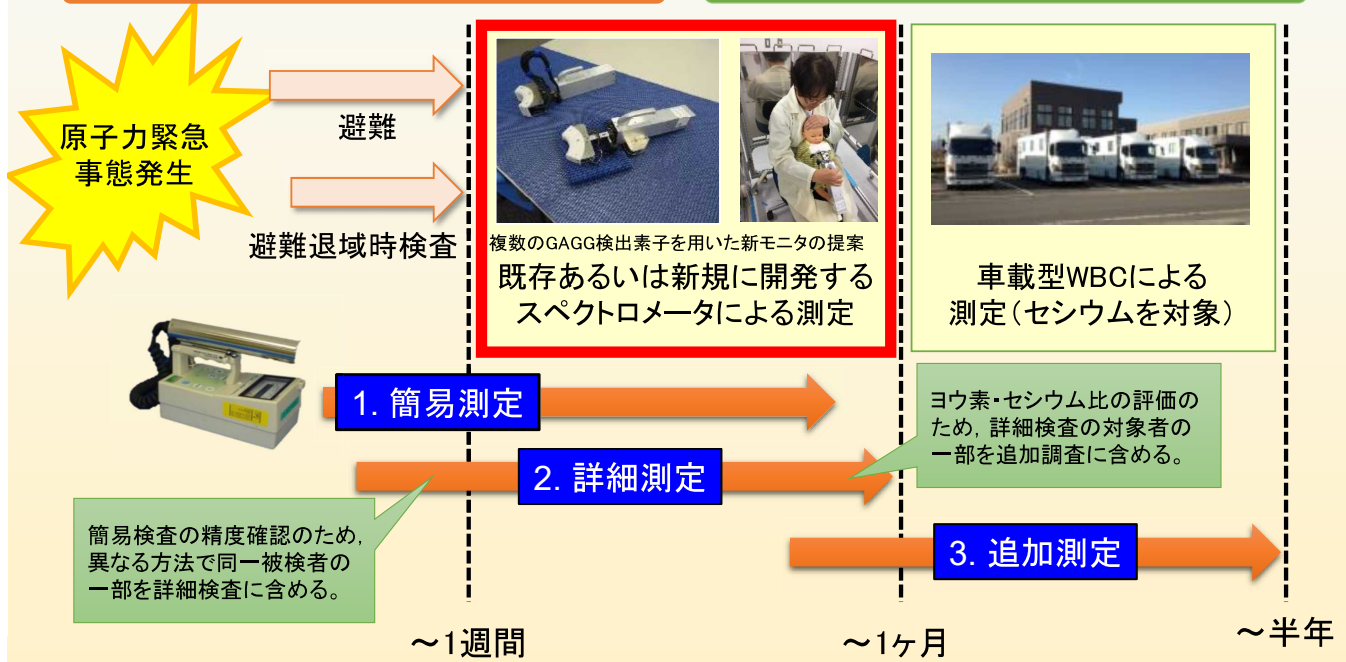
ロードマップ及び研究進捗状況

項目	平成29年度	平成30年度	平成31年度(令和元年度)
1. 検出器応答評価 (スペクトル解析ソフトの開発を含む)	資機材準備 応答試験 ソフトウェア試作	数値シミュレーション 応答試験 ソフトウェア改良	測定条件決定 ソフトウェア改良
2. 新モニタの開発	試作器の製作	試作器の開発	実用機の開発
3. マニュアル作成 (情報収集システムの開発を含む)	簡易検査見直し システム概念設計 海外調査	換算係数の整備 システム試作 海外調査	マニュアル作成 システム改良
4. 研修・ワークショップ	実務者会合	実務者会合	研修会 代わりに国際学会での発表 WS

提案する原子力災害時の個人内部被ばくモニタリング

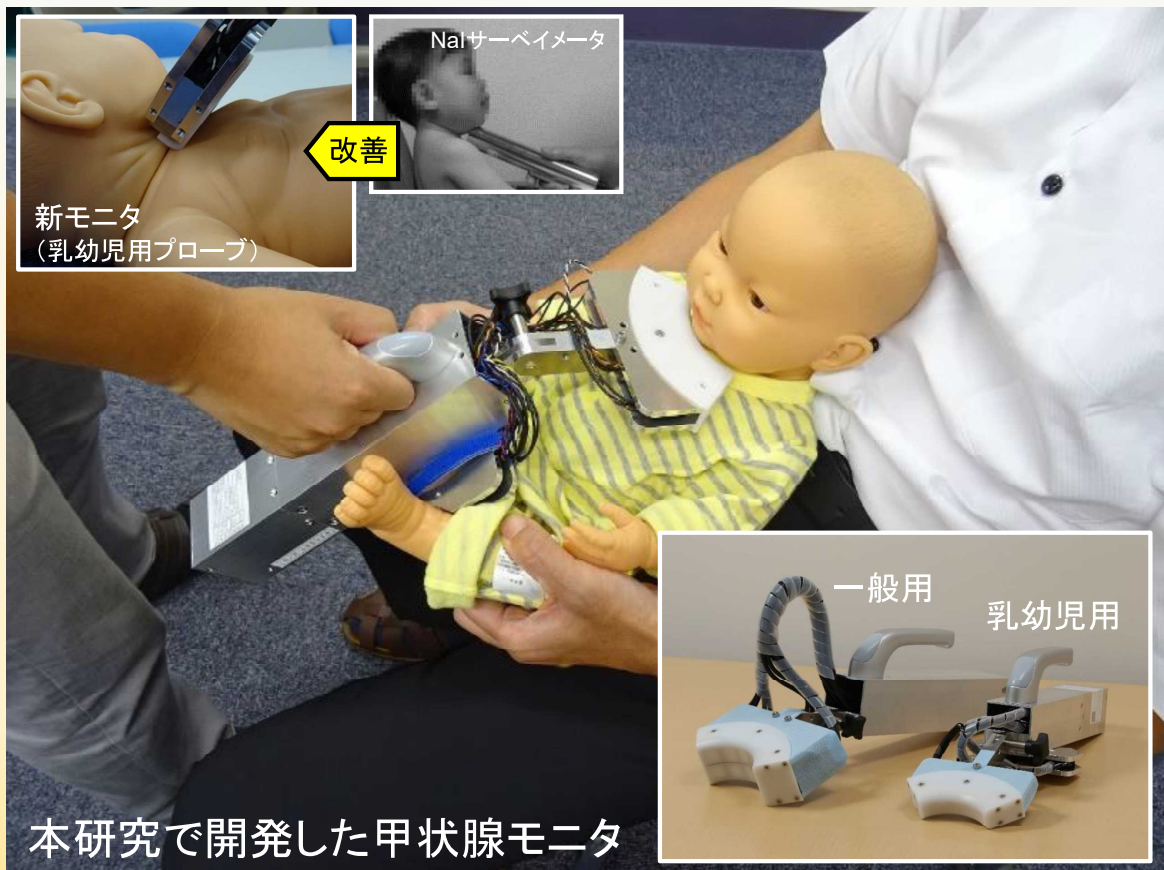
緊急時段階(放射性核種の環境放出)

中期段階(環境放出が概ね収束)



内部被ばく線量評価のためには、**行動情報**(避難経路, 摂水, 安定ヨウ素剤)も必要
 ※なるべく早い段階での情報収集が重要

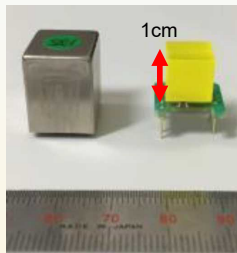
主な成果①—甲状腺モニタの開発



新モニタのコンセプト

福島原発事故対応で認識された課題

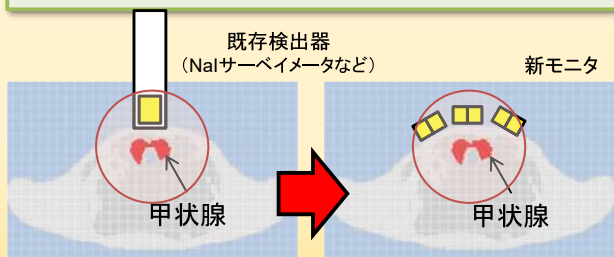
- 小児を含む幅広い年齢群を対象とした検査
- 周辺環境のバックグラウンドの上昇



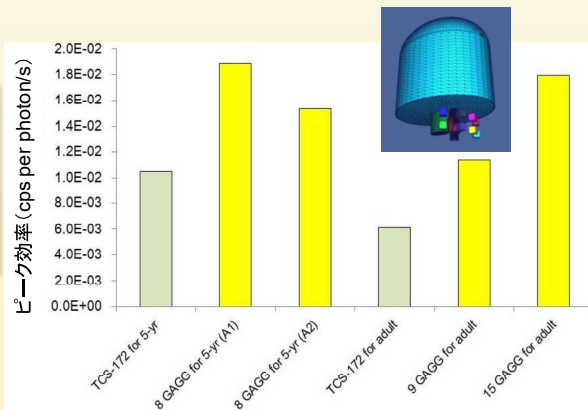
新甲状腺モニタに採用したHR-GAGG検出素子
(※市販品を改良)

解決策

- 複数の小型検出素子を頸部周囲に配置することで検出感度の向上を図る。
(※検出素子自体が小型化することでBGの影響も減少)



既存検出器(NaIなど)では光電子増倍管を使用するため、検出器自体が大きくなり、被検者に圧迫感を与える。



新モニタとNaIサーベイメータ(TCS-172)の甲状腺中¹³¹Iに対するピーク効率の比較
(※数値シミュレーション)

TCS-172に内蔵されるNaI検出素子の結晶サイズ12.9 cm³に比べ、GAGG素子8個(8 cm³)の方が小さいが、検出感度は高い。

7

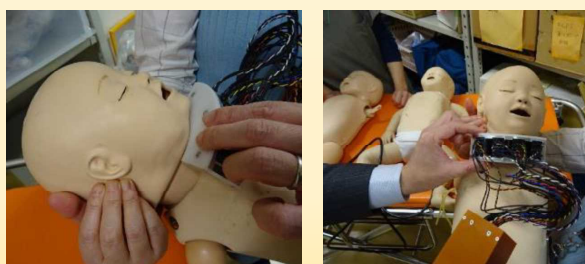
乳幼児の測定方法の検討

1, 2年目 試作機(プローブ)の開発



- ファントムを用いた検出素子配置の検討
- 検出素子固定治具の製作

- 乳幼児用... 1段4列アレイ
- 子供用... 2段4列アレイ
- 一般用... 2段5列アレイ



乳幼児ファントムを用いたモックアップ
(成育医療研究センターにて)

最終年度 測定体位・プローブの選択

1. 基本となる測定体位

横谷先生(福島医大)からのご助言

- 2歳未満... 母親が抱きかかえて測定
- 2~5歳... ベットに寝かせて測定
- 5歳以上... 椅子に座って測定



2. プローブの選択

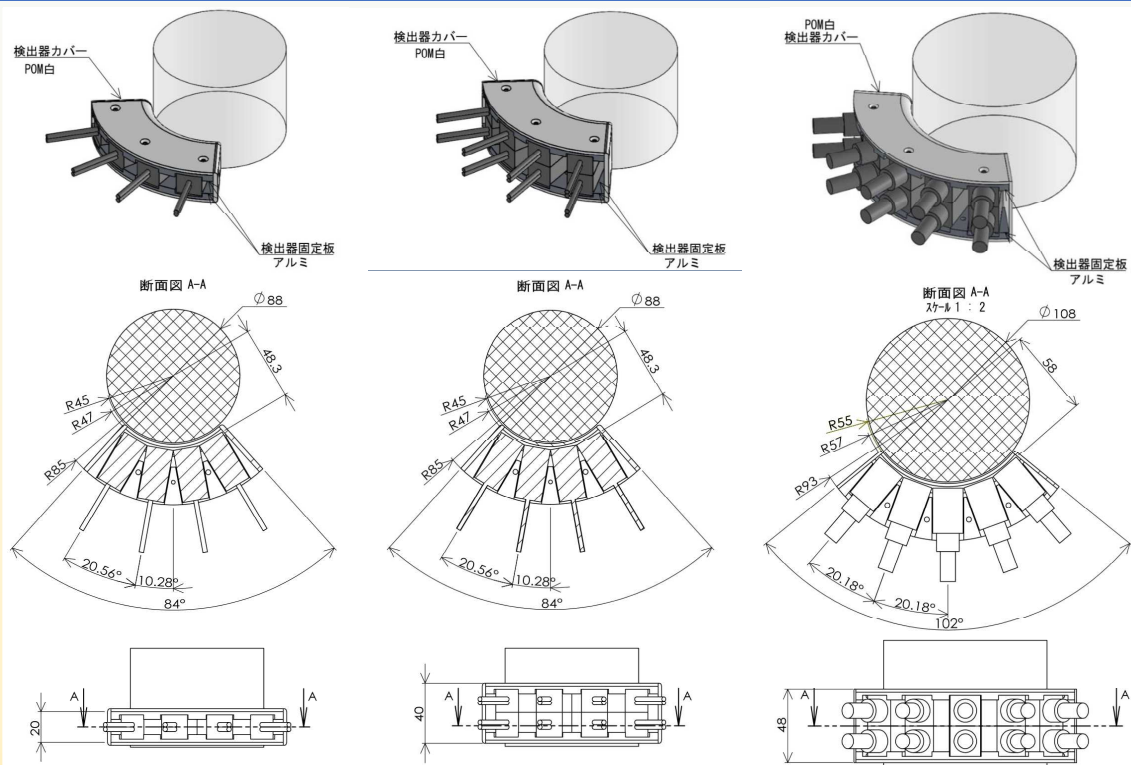


2歳7カ月(女子)

4歳(男子)

目安として、5歳までは乳幼児用、小学生(6~12歳)は子供用、中高生以降は一般用

プローブの製作



乳幼児用: 1段4列アレイ

検出素子...小型改良型

子供用: 2段4列アレイ

検出素子...小型改良型

成人用: 2段5列アレイ

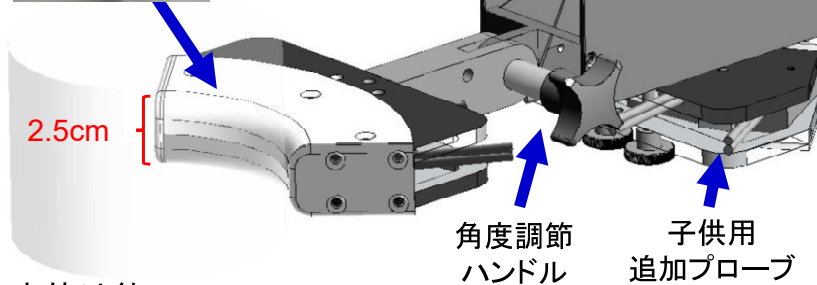
検出素子...市販品

9

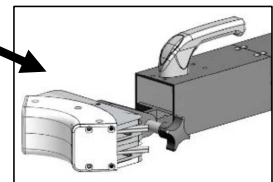
新モニタ(実用機)の製作

新モニタ(乳幼児・子供用)

GAGG検出素子



SiPMアンプヘッドユニット



モニタ本体は約1kg (成人用は1.5kg)



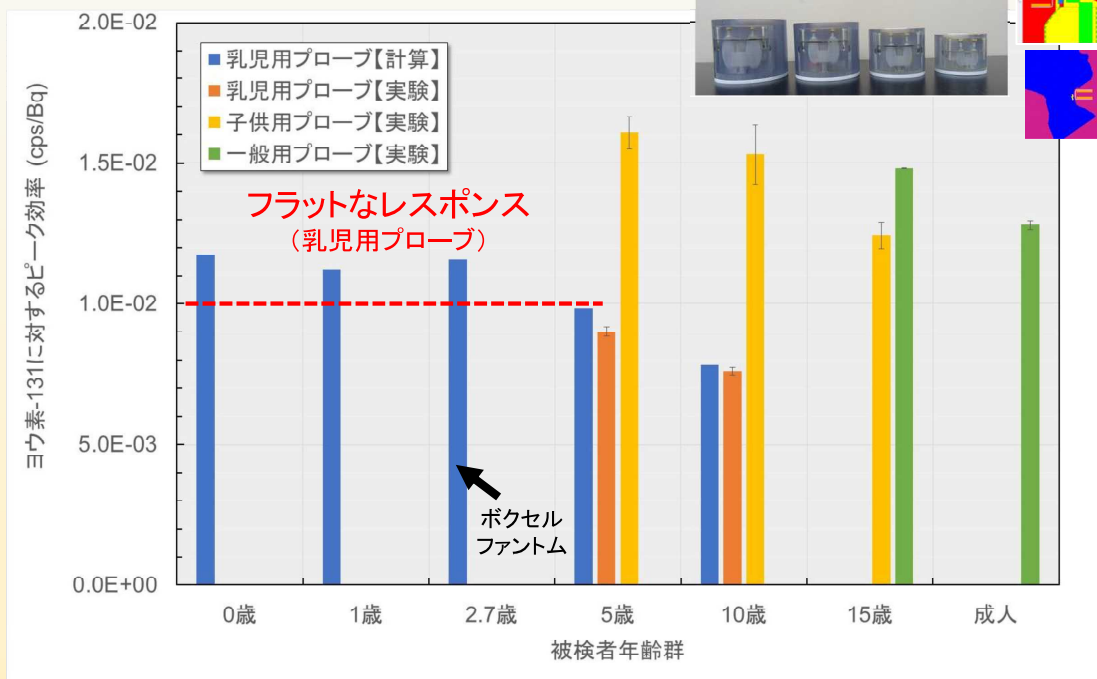
プローブ(左:乳幼児用, 右:一般用)

【新モニタの特徴】

- 乳幼児にも対応可能(おそらく世界初)
- 甲状腺に対する幾何学的効率が高い
- 測定ジオメトリの再現性が高い
- 高感度・高分解能なスペクトル測定
- 温度変化に伴うゲイン変化の自動調整
- 軽量コンパクトかつ省力(USB電源供給)

新モニタ(実用機)の性能評価(1)

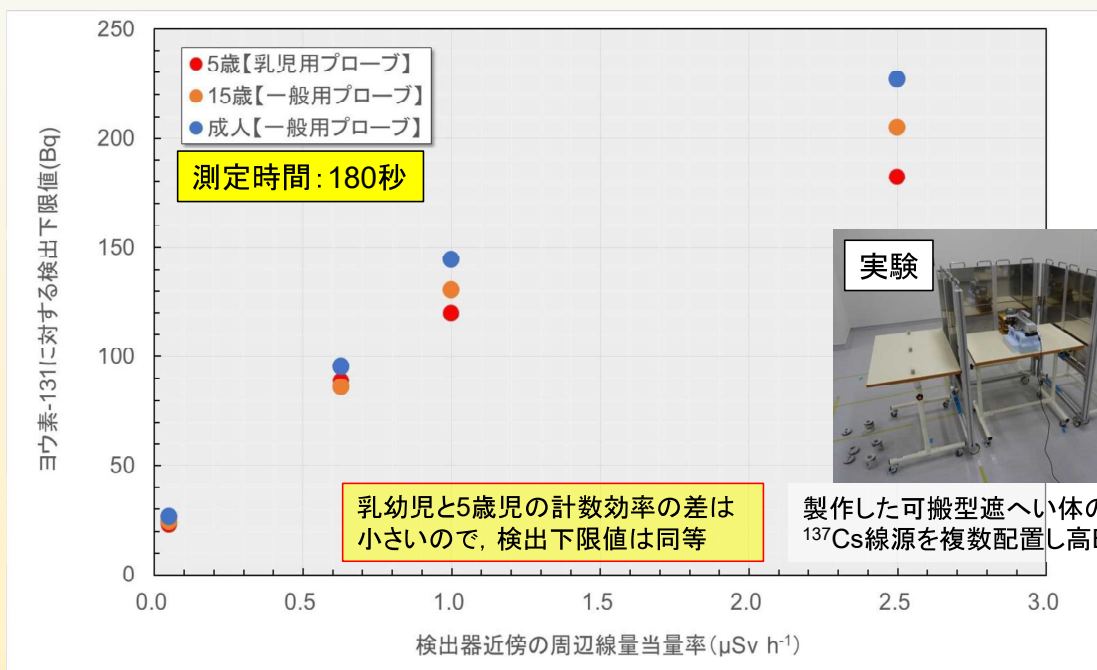
年齢別ファントムに対する¹³¹Iのピーク効率



- 実験と計算により乳幼児から成人までの新モニタの¹³¹Iピーク効率を評価(5歳児までは乳幼児用プローブで安定した感度が得られる見込み)

新モニタ(実用機)の性能評価(2)

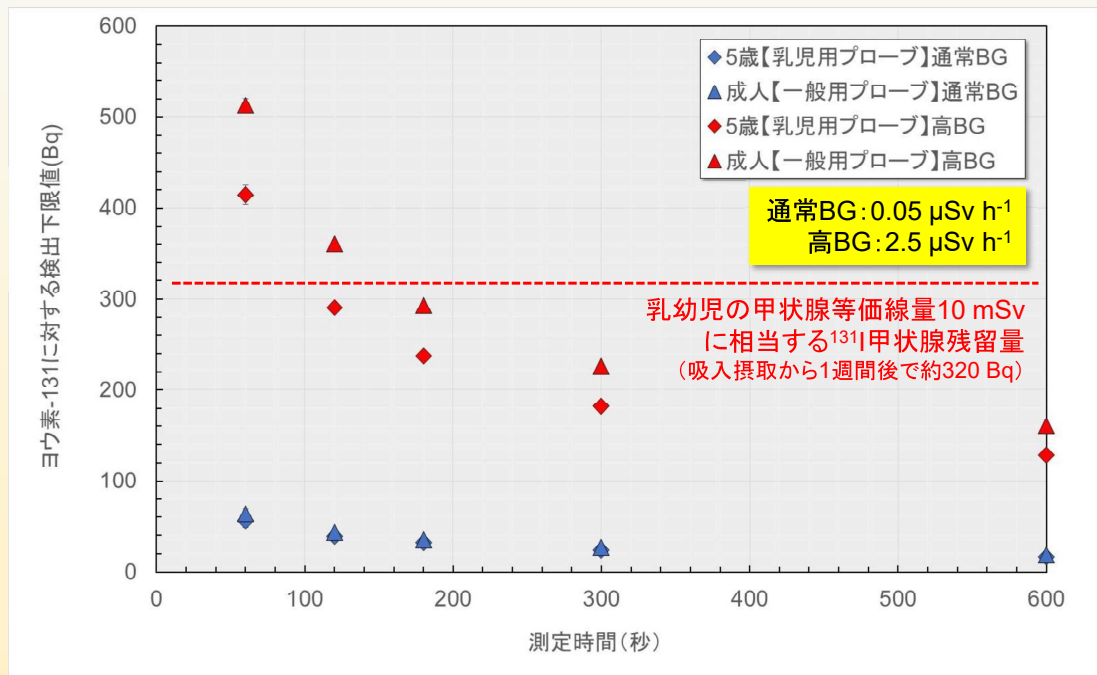
バックグラウンド線量率と¹³¹I検出限界値の関係



数μSv h⁻¹の環境下で乳幼児の甲状腺等価線量10mSv程度まで評価可能 (ただし, 吸入摂取から1週間以内 ※通常BGであれば1桁低い線量まで評価可)

新モニタ(実用機)の性能評価(3)

検出下限値と測定時間の関係



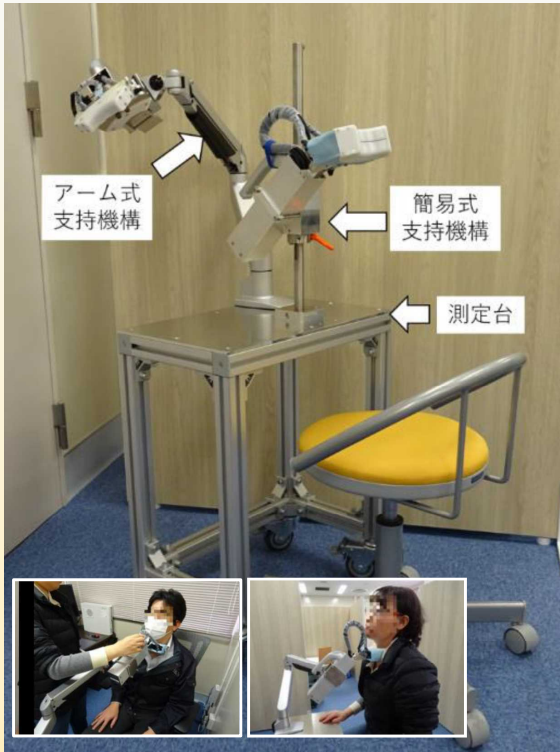
数 $\mu\text{Sv h}^{-1}$ の環境下で乳幼児の甲状腺等価線量10mSv程度まで評価可能 (ただし, 吸入摂取から1週間以内 ※通常BGであれば1桁低い線量まで評価可)

他検出器との比較

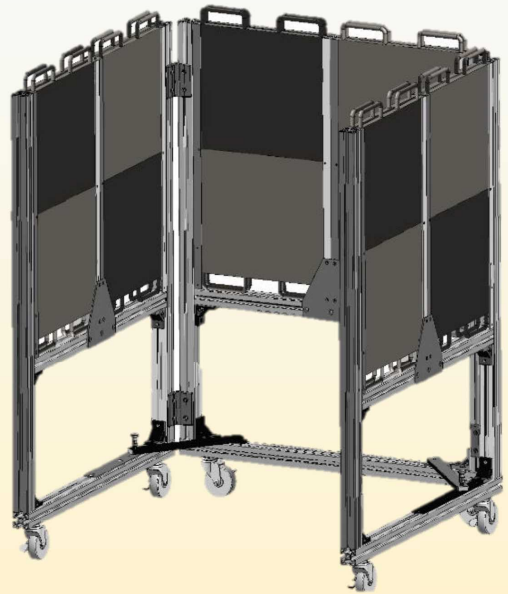
項目	Nal(Tl) サーベイメータ	新モニタ(GAGG)	甲状腺モニタ(HPGe) (量研所有の装置)
BG線量率 (推奨値)	0.2 $\mu\text{Sv/h}$ 以下 (IAEA EPRに準じる)	数 $\mu\text{Sv/h}$ 以下	通常BG
対象者	小学生(低学年)~成人	乳幼児~成人	成人
用途	スクリーニング(現地)	詳細測定(現地)	詳細測定(医療機関等)
測定時間	2~3分間 (頸部と大腿部の2カ所測定)	3分間 (定期的に測定室内のBG測定)	3分間
検出限界値 (^{131}I)	約500 Bq (通常BG) ※0.02 $\mu\text{Sv h}^{-1}$ を検出限界とした場合	30 Bq(通常BG)~ 300 Bq(2.5 $\mu\text{Sv h}^{-1}$)	38 Bq (通常BG)
重量	約1.5 kg (TCS-171/172)	約1 kg(乳児・子供用) 約1.5 kg(一般用)	約1 ton
電源	内蔵電池	ノートPCから供給	商用電源

細田らの報告(Health Phys. 2019)によれば, 3インチNal(Tl), 2インチCeBr₃, 1.5インチSrI₂(Eu), 1インチSrI₂(Eu)の検出限界値を比較し, 通常BG(0.04 $\mu\text{Gy h}^{-1}$)で約20~40 Bq, 空間線量率1.38 μGy の環境で約200~600 Bqであった。(ただし, 計数効率校正には成人を模したORINSファントムを使用し, 測定時間は300秒の結果である)

支持機構・可搬型遮蔽体の製作



研修会受講生及び研究評価委員のコメントを踏まえ、測定者の負担を軽減するためのモニタ支持機構を製作。



可搬式の遮蔽体を製作。遮蔽プレートをフレームに必要な数セット(最大24枚)することで、周辺BGの影響を低減できる。

※遮蔽プレートの重量は1枚約15kg(鉛製、表面はアルミ)であり、外寸は35cm×30cm×1cm。2枚重ねることで137Csのγ線を約1/4低減。

主な成果②—情報収集システムの開発

原子力災害後の公衆の内部被ばく線量評価に必要な情報を漏れなく収集



1. ログイン画面

2. 被検者情報・検査データ登録

3. 避難行動情報登録

各サイトの避難計画にある避難所情報を元に避難経路を別画面で可視化

手順1: 所定の様式に検査結果や避難行動などに係る事項を記入

手順2: 情報収集システムにデータ格納

各サイトの広域避難計画の調査を基に、指定避難所のデータベースを構築(システムに格納)

原子力事故直後に避難住民に対して行われる体表面検査(身体サーベイ)や甲状腺簡易測定等のデータとともに、避難行動情報を散逸することなく収集・格納するシステムを構築

避難者検査記録カード

情報収集システムの入力データとなる避難者検査記録カード

作成日 20 年 月 日
検査場 原子力災害時 避難者検査記録カード 個人識別ID

1. 受検者登録情報
 ① (ふりがな) 氏名 ② 生年月日 年 月 日 ③ 性別 男・女
 ④ 住所

2. 検査結果 (測定担当者記入欄)
 ① 体表汚染検査
 測定員: 測定員: 記録員:
 管理番号: 測定場所の空間線量率 $\mu\text{Sv/h}$
 BG: cpm
 (測定場所の空間線量率 $\mu\text{Sv/h}$)
 (前面) (背面)
 部位 測定結果 cpm
 体表汚染: 有・無
 除染実施: 済み・未実施
 甲状腺検査時汚染: 有・無

② 甲状腺測定 簡易検査 (測定機器: NaIサーベイメータ($\mu\text{Sv/h}$)・スペクトロメータ(計数値))
 測定員: 測定員: スペクトロメータによる測定の場合
 管理番号: 記録員: 測定時間:
 (測定場所の空間線量率 $\mu\text{Sv/h}$)
 スペクトル名:
 結果 大冠部(被検者BG) 甲状腺部 その他: ビークチャンネル及び検数(c/s)等
 1
 2
 3
 備考

1. 被検者情報

3. 避難行動情報

2. 体表面検査

4. 安定ヨウ素剤

5. 食事状況

6. 個人情報
利用の許諾

3. 避難行動調査
 ① 避難経路調査: 屋内退避指示、避難指示を受けた場所と、その他の屋内・屋外滞在の別をご記入ください。
 避難経路指示: 自宅・自宅外(避難・住所) / 屋内・屋外
 屋内退避指示: 自宅・自宅外(避難・住所) / 屋内・屋外
 避難指示: 自宅・自宅外(避難・住所) / 屋内・屋外
 ② 避難を開始した日時をご記入ください。(月 日 :)
 ③ 避難時に同行者(一緒に行動した人)がいた場合、家族・その他別に代表者のお名前と人数をご記入ください。
 家族・代表者()・人数() / その他: 代表者()・人数()
 ④ 避難開始から避難完了までの避難経路(行動、移動手段、期間、場所)を教えてください。

行動	移動手段	期間	場所(移動元・先、滞在)
1 移動・滞在	車・徒歩・その他() / / / / /	/ / / / /	/ / / / /
2 移動・滞在	車・徒歩・その他() / / / / /	/ / / / /	/ / / / /
3 移動・滞在	車・徒歩・その他() / / / / /	/ / / / /	/ / / / /
4 移動・滞在	車・徒歩・その他() / / / / /	/ / / / /	/ / / / /
5 移動・滞在	車・徒歩・その他() / / / / /	/ / / / /	/ / / / /
6 移動・滞在	車・徒歩・その他() / / / / /	/ / / / /	/ / / / /

⑤ 避難中の出来事や気づいた点があればご記入ください。

4. 安定ヨウ素剤の服用
 ① 安定ヨウ素剤を服用しましたか? はい・いいえ * : ヨウ化カリウム(mg)、ヨウ化カリウム錠(錠)
 ② ①で「はい」の場合、服用回数、服用時期、日数、服用量を教えてください。服用回数:
 1回目 服用時期: 避難前・避難後 | 服用日時(月 日 :) | 服用量: mg・錠
 2回目 服用時期: 避難前・避難後 | 服用日時(月 日 :) | 服用量: mg・錠
 3回目 服用時期: 避難前・避難後 | 服用日時(月 日 :) | 服用量: mg・錠

5. 食事状況調査
 ① 震災後から現在まで、摂取制限指示のあった食品等を摂取しましたか? はい・可能性あり・いいえ
 ② 震災後から現在まで、放射能汚染の可能性のある食品等を摂取しましたか? はい・可能性あり・いいえ
 ③ ①②で「はい」「可能性あり」を選択した方は、その状況について詳しく教えてください。

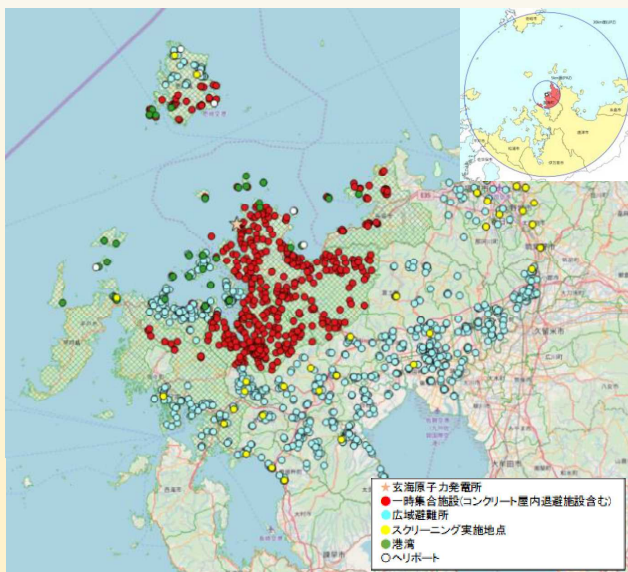
6. 個人情報利用の許諾
 本記録カードの記載内容は、個人特定可能な情報を除いて、放射線による被ばく経路推定または推計手法の開発等に
 かかわる研究に用いることがあります。上記の情報利用に同意して下さる方は自筆(未成年者の場合は保護者)に
 よる筆名をお願いします。
 氏名(自筆)
 ご協力ありがとうございました。

甲状腺測定を行う会場の受付にて被検者に配布し、測定後にコピーを収集

17

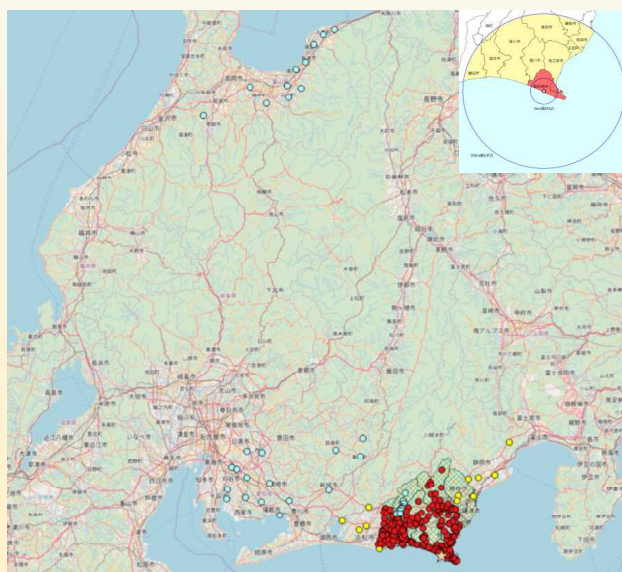
地域広域避難計画の調査

各サイトの原子力災害広域避難計画を参考に、各自治体の近隣住民の人口や避難経路等に関する情報をデータベース化し、情報収集支援システムに格納。



玄海サイト

(PAZ圏内: 8,126名, UPZ圏内: 254,700名)
 ※平成28年3月または4月時点



浜岡サイト

(PAZ圏内: 46,272名, UPZ圏内: 889,223名)
 ※平成30年4月時点

国内全サイトについてデータベース化完了

甲状腺内部被ばく検査対応に係る検討

検査会場レイアウト例

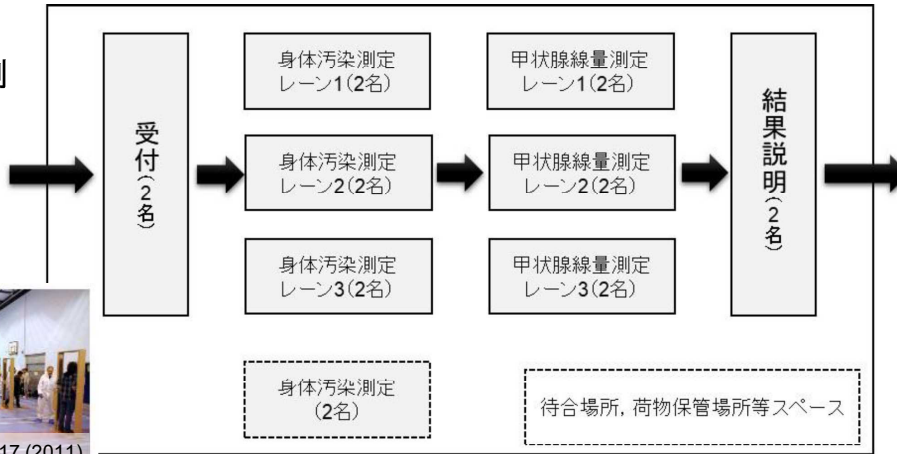


Figure 4. An EMU being examined. Stage 2 external monitoring with people in situ. Here along with the main queuing area.

1名当たりの実効的な処理時間

ステージ	受付	身体汚染測定	甲状腺線量測定	結果説明	合計
1人当たりの処理時間(秒/人)	100	300	300	100	800
並列数	1	3	3	1	—
実効的な処理時間(秒/人)	100	100	100	100	400

会場の処理能力

1人当たりの実効的な処理時間(秒/人)	400
並列数(受付, 身体汚, 甲状腺, 結果説明)	4
1名当たりの実効的な全ステージの処理時間(秒)	100
会場の1時間当たりの処理人数	<u>36</u>

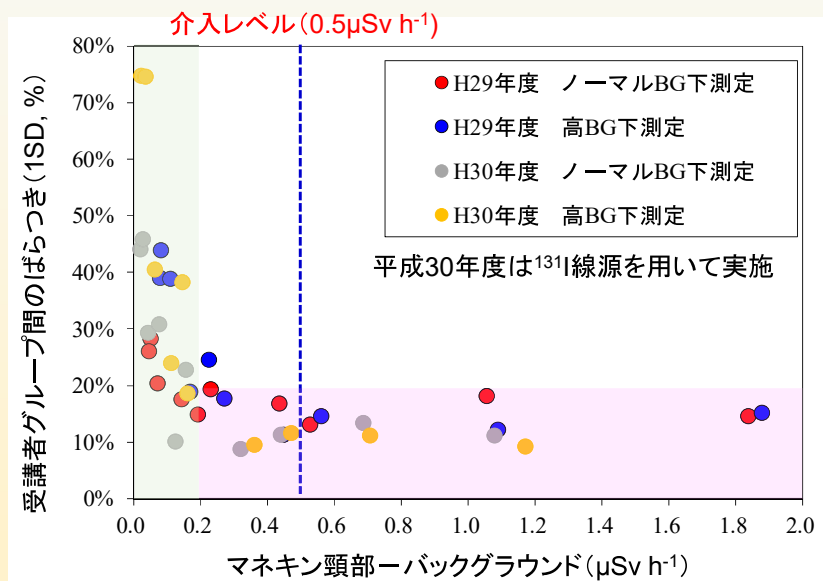
21

甲状腺簡易検査の実証試験

原子力災害時における公衆の放射線防護の1つとして行われるNaIサーベイメータを用いた甲状腺簡易検査の課題を抽出するとともに精度検証を実施。



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($\sim 0.5\mu\text{Sv h}^{-1}$)においても、正味値が $0.2\mu\text{Sv h}^{-1}$ 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 $0.2\mu\text{Sv h}^{-1}$ 未満では、サーベイメータの指示値の統計変動や測定者間の読み方の違いが影響し、ファクター2程度のばらつきを生じる。OIL8以上は十分に識別できる。
- マネキンを用いた甲状腺簡易検査の研修プログラムを開発(Yajima et al. 2018)。これまでに3回の国内の原子力災害対応者向け研修と1回の海外研修を実施。

甲状腺中ヨウ素換算係数の整備 (TCS-172)



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
Ref. ANSI/HPS N13.44-2014

換算係数の実験評価

(校正済みの6台のNaI(Tl)サーベイメータを用いて実験)

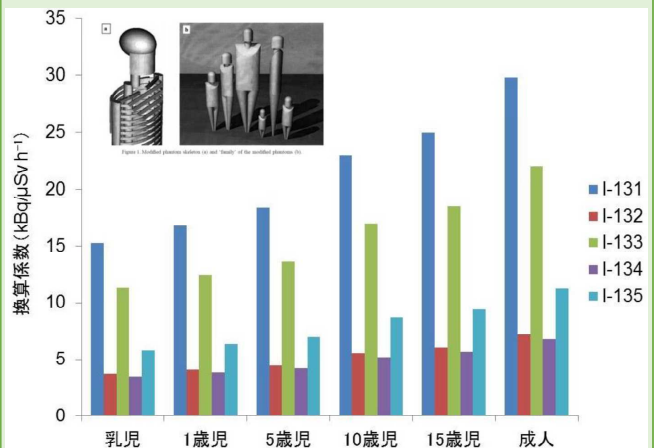
ANSIファントムに対する換算係数 (kBq/μSv⁻¹)

距離 (cm)	0 cm	1 cm	5 cm	10 cm
I-131	22±2	34±2	113±6	264±9
Ba-133	20±2	33±2	109±4	257±13
Cs-137	17±2	28±2	92±4	228±11

ORINSファントムに対する換算係数 (kBq/μSv⁻¹)

距離 (cm)	0 cm	1 cm	5 cm	10 cm
I-131	33±2	46±3	125±5	286±26
Ba-133	31±2	44±2	122±3	273±12
Cs-137	27±2	38±2	104±6	238±14

数値シミュレーションによる換算係数の評価



年齢別数学ファントム (Ulanovsky) に対する換算係数 (kBq/μSv⁻¹) ※検出器—頸部表面距離: 5mm



IRSNで開発された年齢別ファントムでも校正実施 (¹³¹Iについては数学ファントムとほぼ同等の結果)

海外調査(1)

フランスの原子力防災体制及び対応支援機関 (IRSN)



F1事故の経験を踏まえ2016年に緊計計画区域 (EPZ) が10kmから20kmに拡大。

EPZ内の緊急時防護措置は、各地域の県知事によってオフサイト緊急時計画 (PPI) として策定

→ 公衆に対する防護措置を講じる基準

防護措置	防護措置を講じる目安
屋内退避	実効線量10 mSvを超える可能性がある場合
避難	実効線量が50 mSvを超える可能性がある場合
安定ヨウ素剤の服用	甲状腺等価線量が50 mSvを超える可能性がある場合

国家対応計画 (NPP) において定義される事態基準

事態	状況の概要
0: 不確かな状況	事故の特徴 (規模や性質)、環境中へのRIの放出の有無などが不明である。
1: 即時かつ短期間のRIの放出を伴う状況	RIの放出が事故発生から1時間以内に開始され、数時間以内で終了する。数km以内の範囲において中程度の影響が及ぶ可能性がある。
2: 中長期のRIの放出を伴う状況	RIの放出が事故発生から6時間以内に開始され、数日から数週間にわたり継続する。PPIの対象範囲を超える規模で大きな影響が及ぶ可能性がある。
3: RIの放出が長期間継続する状況	RIの放出までに事故発生から6時間以上が経過し、数日から数週間にわたり継続する。PPIの対象範囲を超える規模で大きな影響が及ぶ可能性がある。
4: 輸送中のRIが放出されるおそれのある状況	フランス国内の陸路又は水路におけるRI (固体、液体又は気体) の輸送中の事故
5: 国外で発生した事故がフランスに大きな影響を及ぼす可能性のある状況	原子力施設やRIの輸送中におけるフランス国外での事故がフランスに大きな影響を与える可能性がある。事故が発生した国にいるフランス国民に関連する問題にも取り組むこと。
6: 国外で発生した事故がフランスに僅かな影響を及ぼす状況	フランス国外での事故がフランスに僅かな影響を及ぼす。事故が発生した国にいるフランス国民に関連する問題にも取り組むこと。
7: 沿岸での事故によって放射性物質の放出する可能性のある状況	船舶による放射性物質の輸送中における事故。フランスの沿岸に近い海洋や陸上への放射性物質の放出を伴う事故。

公衆のモニタリング (IRSN)



4車両 4システム/1車両 4コンテナ 10システム/コンテナ 2車両 精密体外計測

1日2500名のモニタリングが可能



軍用大型輸送機により他国に移送可能

海外調査(2)

ドイツ放射線防護局(BfS)

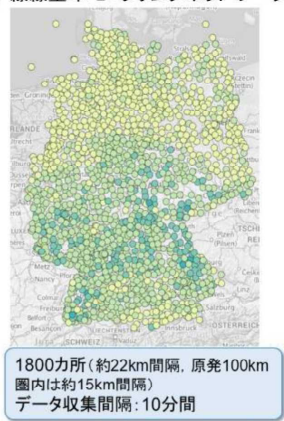


2019年2月20日から22日、ドイツ放射線防護局(BfS)に訪問し、福島原発事故対応の情報共有とともにドイツにおける原子力災害対応に関する情報収集

空気モニタリングネットワーク



γ線線量率モニタリングネットワーク



ドイツ国内における放射線監視モニタリングネットワーク網

訪問を機に、BfSと量研との共同研究に関するMOUに、放射線災害時における個人モニタリングに関する事項が追記された。

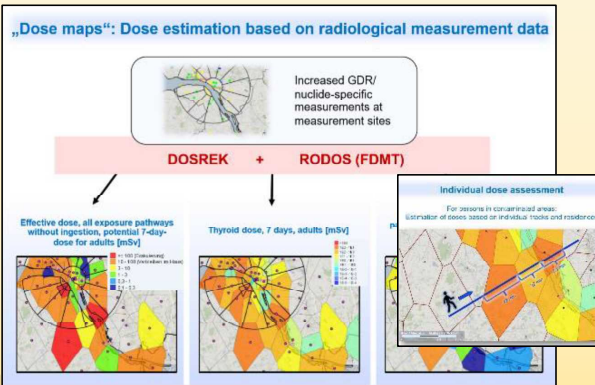
CAThYMAR – Child and adult thyroid monitoring after reactor accidents

European intercomparison for thyroid monitoring with dose-rate meters and other non-spectroscopic devices

	For adults:	For children:
activity:	14 000 Bq	2500 Bq
dose-rate:	ca. 300 nSv/h	ca. 65 nSv/h
thyroid dose:	20 mSv	20 mSv



甲状腺モニタリング装置 欧州プロジェクトCAThYMARにも参加



ドーズマッピング及び線量評価システム

本研究のまとめ

- 乳幼児の甲状腺中ヨウ素の測定にも適用可能な新しいモニタの開発を完了。また、同モニタの性能を評価するとともに、実被検者(子ども)によるモックアップ試験を行った。
- 提案した原子力災害時における公衆の甲状腺モニタリングに必要なとなる材料(測定マニュアル類, 情報収集システムなど)を整備した。
- 本研究成果を国際学会や研修会等を通じて発信した。



甲状腺簡易測定研修での新モニタのデモンストレーション



新モニタのモックアップ試験

成果公表

学会発表

- K. Yajima, E. Kim, K. Tani, H. Tatsuzaki, O. Kurihara. "A reliable and robust method for monitoring large populations to assess thyroid internal exposure in a nuclear accident". 12th International conference on the Health Effects of Incorporated Radionuclides (HEIR). 8-11 October 2018, Fontenay-aux-Roses, Paris, France. BIO Web of Conference 14, 03010 (2019).
- K. Yajima et al. the same presentation as the above. 4th ARADOS annual meeting. 17-19 October 2018, Seoul, Korea.
- K. Tani, Y. Igarashi, E. Kim, T. Imoto, O. Kurihara. "Monte Carlo simulation with computational phantom to investigate the effectiveness of a whole-body counter for thyroid measurement". 19th International conference on Solid State Dosimetry (SSD). 15-20 October 2019, Hiroshima, Japan.
- K. Yajima, E. Kim, K. Tani, O. Kurihara. "A new concept thyroid monitor using multiple GAGG detectors for population monitoring in a nuclear accident". 19th International conference on Solid State Dosimetry (SSD). 15-20 October 2019, Hiroshima, Japan.
- K. Yajima et al. the same presentation as the above. 5th ARADOS annual meeting. 6-8 November 2019, Beijing, China.

論文

- K. Yajima, E. Kim, K. Tani, H. Tatsuzaki, C. Li, O. Kurihara. "A screening survey exercise for thyroid internal exposure from radioiodine after a nuclear accident". Radiat. Prot. Dosim. 183:483-488 (2018).
- K. Yajima, E. Kim, K. Tani, O. Kurihara. "A new thyroid monitor using multiple high resolution GAGG detectors for direct thyroid measurements of small children following a nuclear accident". Radiation Measurements. DOI:10.1016/j.radmeas.2020.106272 (2020).

27

自己評価

1. 研究代表者による自己評価

評価の視点	自己評価	コメント
評価時点までの研究の実施が研究計画に沿って行われているか	概ね計画どおり	<ul style="list-style-type: none">● ほぼ当初の計画通り、研究を遂行することができた。● 特に最終年度は外部有識者の先生方を含む多くの方々から貴重なご助言やご支援を頂いた。この場を借りて感謝申し上げたい。
今年度の進捗や達成度を踏まえて、次年度の研究計画に変更が必要か	今年度で終了	<ul style="list-style-type: none">● 本研究の終了後も乳幼児・小児の測定について引き続き検討していきたい(最適な測定時間や安心して測定を受けられる工夫など)● 提案した手法を各地域の原子力防災計画にどのように実装できるかを検討していきたい。

2. 分担研究者による自己評価

研究分担者不在のため本項目は該当しない。

評価時までの研究成果

- 本資料で示したとおり。

28

研究評価委員会コメントへの対応

コメント	対応
開発された装置を用いた甲状腺測定研修会での意見を反映させるなど、事故時の甲状腺モニタリング対象者側の視点に立った操作マニュアルについても報告書に記載されたい。	<ul style="list-style-type: none">● 事業成果報告書付録に開発した甲状腺モニタの取扱説明書やマニュアルを掲載した。<ul style="list-style-type: none">➢ 付録C...新甲状腺モニタ用ソフトウェアの取扱説明書➢ 付録D...新甲状腺モニタ簡易使用法(マニュアル)● 研修会での受講生からのコメントについては、同報告書 4.5(37頁)において、対応状況等とともに掲載した。

29

研究成果の放射線規制及び放射線防護分野への活用等

- 原子力災害時に伴う公衆の甲状腺内部被ばくモニタリングの方策については、国や自治体等で検討が進められているが、本事業で開発した甲状腺モニタや内部被ばく線量評価のための情報収集支援システムは、モニタリングのツールとして利用されることが期待される。
- 開発した甲状腺モニタは、放射線感受性の高い乳幼児にも適用可能な唯一無二の機器であり、原子力災害時の公衆の被ばく線量評価の信頼性向上に資する。
- 本事業の成果を、我が国における放射線防護研究として世界に向けて発信してゆく。

平成31年度 放射線安全規制戦略的推進事業費 一事故等緊急時における内部被ばく線量迅速評価法の 開発に関する研究一

事後評価用資料

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
安全研究・防災支援部門 安全研究センター
原子炉安全研究ディビジョン リスク評価・防災研究グループ



(主任研究者) 谷村 嘉彦

【概要】 事故等緊急時における内部被ばく線量迅速評価法の開発に関する研究
(平成29年度～平成31年度)



【背景・目的】

原子力事故等緊急時には、高線量率下における多数の公衆及び作業者が摂取した放射性ヨウ素の迅速かつ高精度な測定・評価が必要

➡ **γ線エネルギー分析方式の可搬型甲状腺モニタシステムを開発**

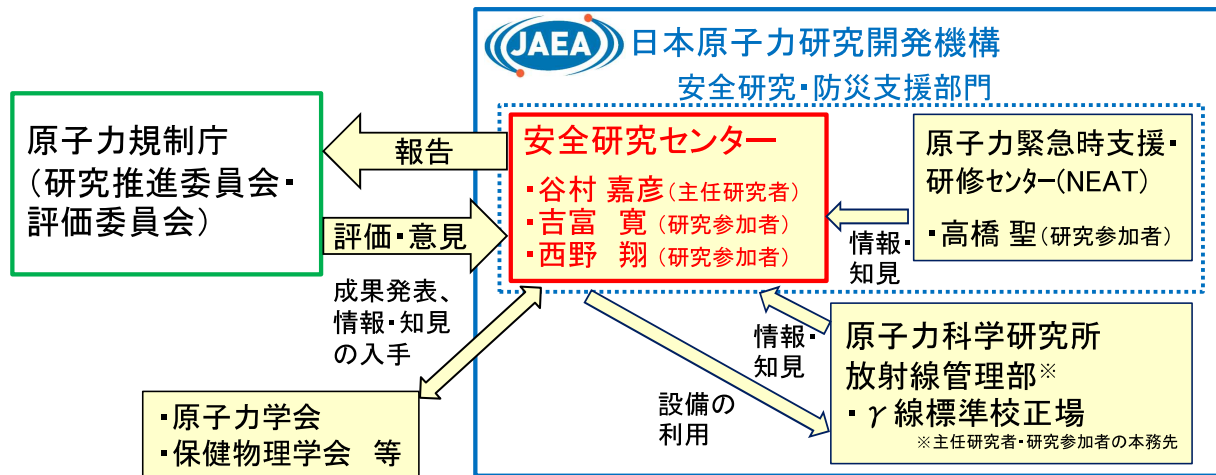
【実施状況】 ロードマップに従い、ほぼ当初の計画どおりに実施

開発項目	平成29年度	平成30年度	平成31年度
① 甲状腺モニタ測定器	検出器の試験・選定 遮蔽体材質等最適化 検出器及び遮蔽の選定 ▲	測定器の試作、性能評価 試作機の完成 ▲	実機の製作、性能評価 実機の完成 ▲
② 高精度放射性ヨウ素定量法	年齢別頸部ファントム製作 頸部ファントムの製作 ▲	頸部・数値ファントムによる定量法の開発 定量法の完成 ▲	
③ 甲状腺モニタシステム		標準化用治具の設計	標準化用治具の製作 マニュアル作成 システム完成 ▲

平成29年度: 最適な検出器の選定、遮蔽体の材質・厚さの最適化、年齢別頸部ファントムの製作
 平成30年度: 甲状腺モニタ測定器の試作、放射性ヨウ素定量法の開発、標準化用治具の概念設計
 平成31年度: 甲状腺モニタ測定器実機の製作、性能評価、標準化用治具の製作、マニュアル完成

【期待される効果】

NEAT、オフサイトセンターへの集中配備と、各避難所、指揮所への緊急輸送体制の構築により、多数の公衆・作業者の高精度甲状腺等価線量モニタが可能となる



【研究分担】

- 研究統括
・谷村 嘉彦
- ① 甲状腺モニタ測定器実機の製作
 - ・西野 翔 (製作・評価)、谷村 嘉彦 (設計)
 - ③-1 標準化用治具の製作
 - ・吉富 寛 (設計)、谷村 嘉彦 (製作)
 - ③-2 マニュアルの作成
 - ・西野 翔 (機器操作)、吉富 寛 (定量・校正法)、谷村 嘉彦 (全体統括)、高橋 聖 (助言)

➤ 甲状腺簡易測定研修(2019年10月、量研機構)や実務者会合(2020年1月、NEAT)における甲状腺モニタシステムのデモンストレーションを通じて防災関係者の意見を収集

2

【今年度の研究概要】 平成31年度の実施内容と達成目標

平成31年度(令和元年度)の研究ロードマップ及びマイルストーン(▲)

開発項目	平成31年度(令和元年度)			
① 甲状腺モニタ測定器	実機の仕様検討	実機の製作	実機の性能評価	実機の完成 ▲
③ 甲状腺モニタシステム	治具の詳細設計	治具の製作	マニュアル作成	システムの完成 ▲
実績	↑ 実務者会合	↑ SSD-19	↑ 甲状腺研修 ARA (試作機デモ) DOS-5	↑ 実機納品 ↑ 実務者会合 (実機デモ)

① 甲状腺モニタ測定器の開発

- ・ 公衆用LaBr₃検出器の改良
- ・ 検出器遮蔽体の最適化及び可搬性の向上
- ・ 検出器制御・スペクトル解析用ソフトウェアの改良
- ・ γ線標準校正場を用いた高線量率下での性能試験

➡ 目標: 甲状腺モニタ測定器実機の完成

③ 甲状腺モニタシステムの開発

- ・ 測定条件を標準化するために必要な検出器固定治具の開発
- ・ バックグラウンド放射線測定用治具の製作
- ・ 甲状腺モニタシステムのマニュアルを作成

➡ 目標: 甲状腺モニタシステムの完成

【今年度の研究概要】 ① 甲状腺モニタ測定器の開発



○公衆用LaBr₃検出器

シンチレータと光電子増倍管をパッケージ化

➡ 信頼性の向上と製品化へのスムーズな移行



CdZnTe検出器 LaBr₃検出器

○検出器用遮蔽体

更なるダウンサイズによる軽量化(公衆用)

持運びし易くなる構造の工夫

➡ 可搬性の向上により、柔軟な運用が可能



甲状腺モニタ試作機(平成30年度)

○ソフトウェアの改良

検出器制御系の改良、年齢群に応じたバックグラウンドスペクトル選択機能の追加等

➡ 操作に精通していなくても容易に操作可能

○甲状腺モニタ測定器実機の実験

実機について、 γ 線標準校正場で高バックグラウンド線量率環境を模擬して測定下限値などを評価

➡ 事故時の高線量率下での使用の判断基準

4

【今年度の研究概要】 ③ 甲状腺モニタシステムの開発



○標準化用治具の開発

被検者の年齢ごとに甲状腺と検出器の配置を正確に決定できる治具を開発

➡ 位置ずれの感度への影響を軽減し測定精度の向上

○バックグラウンド放射線測定用治具の開発

高線量率下での使用時には、周辺の放射性ヨウ素からのバックグラウンド γ 線の影響を受けるため、この影響補正に用いるバックグラウンドスペクトル測定用治具を開発

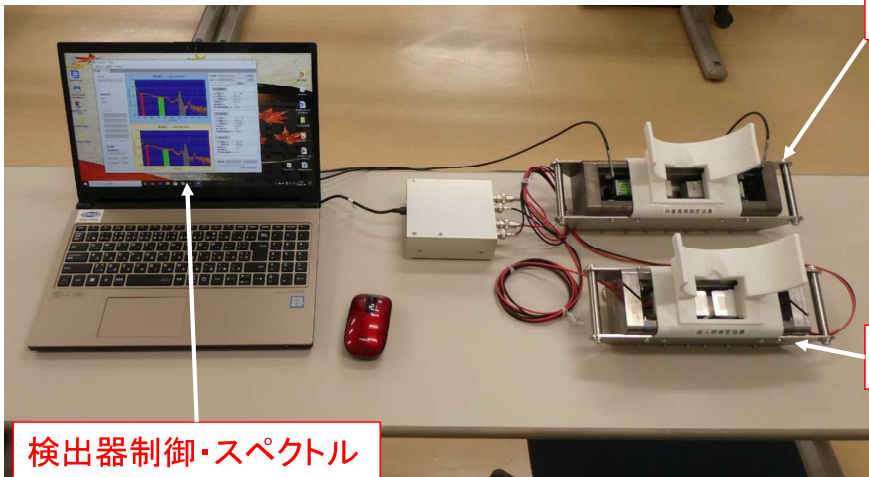
➡ バックグラウンド放射線の正確な補正による測定精度の向上

○マニュアルの作成

甲状腺モニタ測定器の設置、測定器の校正方法、バックグラウンド補正用スペクトルの取得方法、検出器制御・スペクトル解析用ソフトウェアの使用法等をまとめたマニュアルを作成

➡ 操作に精通していなくても正確な測定が可能

5



検出器制御・スペクトル解析用ソフトウェア

- CdZnTe検出器制御機能の改良
- 年齢別B.G.スペクトル選択機能の追加
- データ保存形式の改良
- ピーク解析機能の追加

習熟者でなくても容易に操作可能

作業用: 16.6kg

- 遮蔽体及び検出器については試作機を活用し、持ち手を追加

試作機より可搬性が大きく向上

公衆用: 14.4kg

- 遮蔽体幅の最適化(縮小)と持ち手の追加

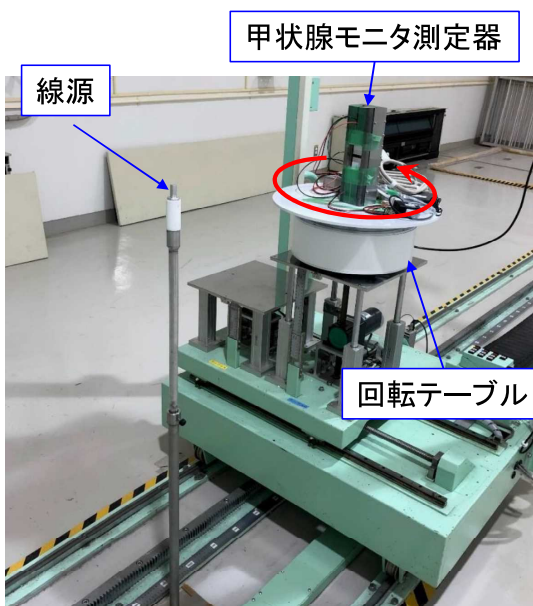
試作機の軽量化(-2kg)と可搬性の大幅な向上

- 検出器のパッケージ化

試作機より信頼性が向上

甲状腺モニタ測定器実機を製作

測定器の特性試験結果



γ線標準場における特性試験

- ^{137}Cs 、 ^{60}Co の高線量率環境下での特性試験
- 回転テーブルによる全方位照射
➡ 高B.G.環境を模擬

甲状腺等価線量評価下限値[mSv]

線源	環境線量 [μSv/h]	公衆 (LaBr ₃)			作業者 (CdZnTe)
		乳児	小児	成人	
^{137}Cs	5	7.8	3.8	1.1	2.6
	20	15.6	7.6	2.2	5.2
^{60}Co	5	5.9	2.8	0.8	1.3
	20	11.7	5.7	1.7	2.6

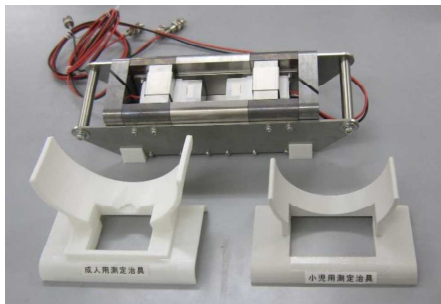
*測定時間: 150秒

- 公衆・作業者ともに5 μSv/hの高線量率環境下で10 mSvの評価が可能
- 乳児を除き20 μSv/hでも10 mSvの評価が可能

甲状腺モニタ測定器 ⇒ 高線量率環境下でも測定可能

○標準化用治具の開発

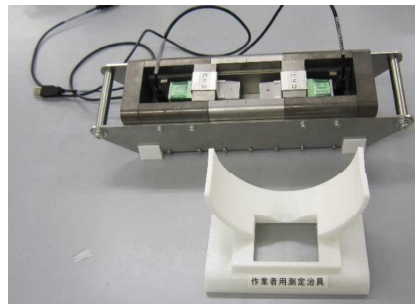
公衆用



成人用
測定治具

小児・乳児用
測定治具

作業員用

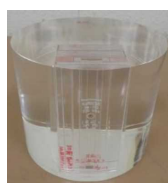


作業員用測定治具

- 治具の製作に3Dプリンタを使用 → 複雑な形状を自在に製作可
- 人体への有害性が認められず、様々な製品にも使用されている素材を採用
→ 環境負荷が小さい生分解性プラスチック樹脂、軟質ウレタン樹脂
- 被検者の頸部が接触する箇所は、軟質のウレタン樹脂を使用
→ 測定時の不快感を軽減するとともに頸径の個人差に対応

8

○バックグラウンド放射線測定用治具の開発



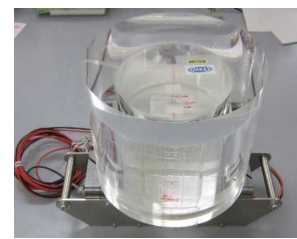
校正用簡易頸部ファントム
(PMMA製13cmΦ×12cm)



乳児用治具



小児用治具



成人用治具

- 甲状腺モニタシステム校正用簡易頸部ファントムでバックグラウンド放射線(周辺の放射性ヨウ素からの γ 線)の被検者による遮蔽効果を模擬
- 甲状腺モニタリング時にバックグラウンド放射線のスペクトルを差引く
→ バックグラウンド放射線の影響を正確に補正可能

○マニュアルの作成

- 試作機(平成30年度製作)用の簡易マニュアルを作成して、10月に量研機構で開催された甲状腺簡易測定研修においてデモンストレーションを実施
- 甲状腺モニタシステムの実機について、公衆用と作業員用それぞれの使用方法に係るマニュアルを作成

○研究評価委員会総合コメント

- 研究目標である甲状腺モニタリングシステムについては完成したと考えられるが、実用上の課題及びそれらへの対応等のソフト面での検討結果(治具の向き、測定体位、乳幼児対応、様々な方の意見のフィードバック)等についても報告書に記載されたい。

検討事項と本資料及び報告書への記載箇所

	検討事項	スライド番号	報告書記載箇所
研究評価委員会	治具の向き、測定体位等に関すること	11 ページ	4. 3. 2. 2項 (53～55ページ)
	乳幼児等の測定に関すること	12 ページ	4. 3. 2. 3項 (56～57ページ)
	保管場所など具体的な運用に関すること	13 ページ	4. 3. 6項 (70～71ページ)
その他専門家からのご意見	使用環境を考慮した検出器の温度特性	14 ページ	4. 2. 3. 5項 (46～49ページ)
	甲状腺の位置・大きさの個人差に関すること	15 ページ	4. 1. 2項 ⑥ (23ページ)

10

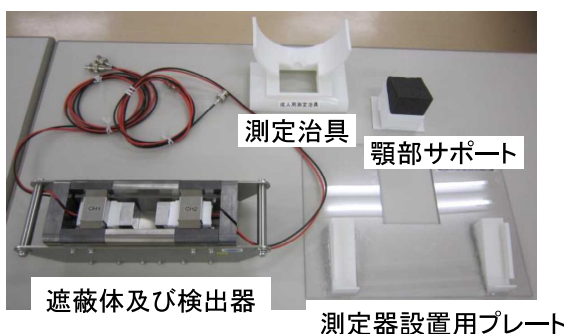
研究評価委員会・専門家等からのコメント対応(1)

○測定治具と測定体位に係る課題

- 測定治具(顎部)に頭部の荷重がかかるため、長時間の測定が困難
- 机上への検出器遮蔽体設置時に手前に傾斜させた方が密着性がよいが、角度が大きすぎると無理な態勢となる

⇒ ウレタンクッション付顎部サポートを作成・使用することにより、顎部に集中していた頭部の荷重を分散できるように改良

デモンストレーションでの意見を参考に、適切な傾斜角度(15°)で検出器遮蔽体を設置できる測定器設置用プレートを作成(顎部サポートとの位置関係を正確に決定できるようプレートに切り欠きを設けるなど形状を工夫)

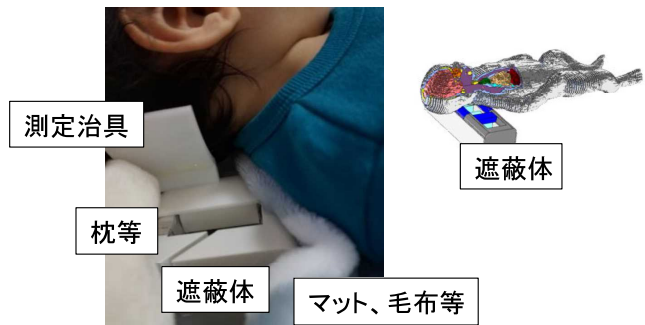


○乳児など測定困難者に係る課題

- 乳児や妊婦、寝たきりの要介助者等、長時間のうつ伏せ測定が困難な被検者への対応
- ⇒ 仰臥位による測定を検討した結果、5 μ Sv/hの高バックグラウンド線量率の環境において、600秒の測定で成人・小児はほぼ10mSv、乳児は100mSvの測定下限値は担保できる

仰臥位測定時の甲状腺等価線量評価
下限値[mSv] 測定時間: 600秒

線源	線量率 [μ Sv/h]	公衆 (LaBr ₃)		
		乳児	小児	成人
環境	0.06	10	1.8	0.5
¹³⁷ Cs	5	64	11	3.1
⁶⁰ Co	5	48	8.6	2.3



乳児の仰臥位測定イメージ
既存の測定治具に頭部(小児成人の場合は頸部)を乗せて測定する。

12

○緊急時の運用法に係る課題

- 原子力事故などが発生した直後の緊急時において、開発した甲状腺モニタシステムをどのように運用するか
- ⇒ 乳児を除き、検査時間5分/人(交換時間含む、乳児除く)、12時間/日の検査時間を想定すると、1システムで一週間で約1,000人の検査が可能。

公衆については、NaI(Tl)サーベイメータによる簡易検査(スクリーニング)で詳細検査の被検者を10万人に選定したとすると、100システムで対応可能。原子力緊急時支援・研修センター(2箇所)やオフサイトセンター(全国で23施設)に集中配備し、緊急時には甲状腺モニタリングを実施する拠点となる避難所や原子力災害拠点病院に輸送することが考えられる。

作業員用については、4,000人*の場合、4システムで対応可能。事業者の作業員用に各原子力施設に常備し、施設間で融通。自衛隊員、原子力規制検査官、警察官、消防隊員、海上保安庁、地方自治体職員等向けに、陸上自衛隊各方面隊、原子力規制事務所、オフサイトセンター、海上保安本部等への常備も必要。各箇所で1~2システムで対応可能。

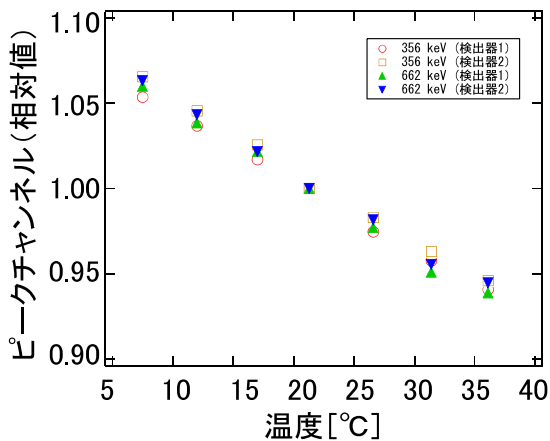
* 福島第一原子力発電所事故では、平成23年8月まで(5~6か月)の緊急作業従事者が約20,000人であることから、1月分の4,000人を想定。

13

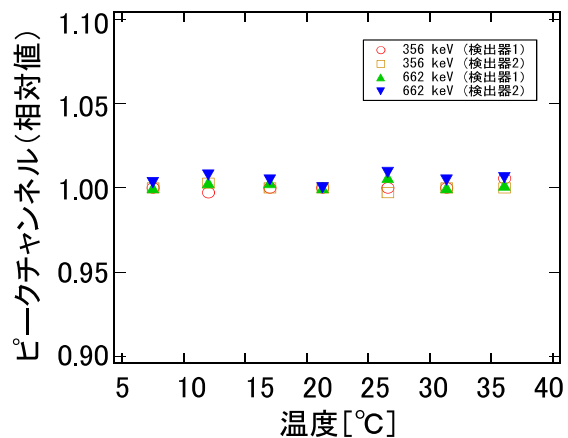
○環境条件に係る課題

➤ 放射線検出器の特性が測定環境の温度に依存することはないか

⇒ 恒温槽を用いて、5°C～35°Cの範囲で温度特性を試験した結果、LaBr₃検出器で最大±5%のゲインの変動がみられたが、計数には有意な変化はないことから、測定時のピーク位置に合わせたゲイン調整を実施すれば使用可能。



LaBr₃検出器



CdZnTe検出器

○甲状腺位置の個人差に係る課題

➤ 甲状腺の位置には、個人差があり、ごく稀にはあるが頸部から大きく上下にずれている被検者がいる。また、左右で甲状腺の大きさが異なることがある。

⇒ 標準的な位置から大きくずれている被検者をどこまで検知する必要があるかについては検討が必要である。検知する方法として、「検出器用遮蔽体の左右の構造(上下方向の開口角)を非対称にして、左右の検出器の計数差を利用する」、「左右非対称のアルミ又はSUS板を開口部に設置して80 keV γ線の吸収の差を利用する」こと等が考えられる。遮蔽体及びモニタの再設計が必要となるため、今後の新たな検討・開発項目となる。

➤ 原子力災害対策への活用

⇒ 開発した甲状腺モニタシステムは、遮蔽一体型であり可搬性に優れる、機といすがあればどこにでも設置できる、という特長がある。このため、原子力事故によりバックグラウンド放射線量率が上昇した環境においても、測定場所を選ばずに柔軟に使用できる。

また、取り扱いが困難な非密封の溶液線源ではなく、 ^{133}Ba 密封点線源を用いて校正が可能であることから、それぞれの測定現場での校正頻度を上げることができ、精度の良い測定が可能である。

上記の特長を有することから、チェルノブイリ原発事故のような海外での事故を含めて、国内外で原子力災害が発生したときの詳細な甲状腺等価線量の測定に活用できる。また、高線量率下で利用できることから、緊急作業従事者の発災現場近辺での迅速な測定が可能となる。

16

【成果の公表】 主な成果の公表状況(1)

○ 論文

- 19th International Conference on Solid State Dosimetry (SSD19)において
成果公表(9月15日~20日、広島、ポスター発表&論文投稿 3件)
- S. Nishino et al.: Prototype Test of a Potable Thyroid Dose Monitoring System using Gamma-ray Spectrometers, Radiation Measurements, doi:10.1016/j.radmeas.2020.106292 (論文掲載決定)
 - H. Yoshitomi et al.: A study of a calibration technique for a newly developed thyroid monitor and uncertainties due to body size for radioiodine measurements, Radiation Measurements, doi:10.1016/j.radmeas.2020.106279 (論文掲載決定)
 - Y. Tanimura et al.: Background Correction Method for Portable Thyroid Dose Monitor Using Gamma-ray Spectrometer Developed at JAEA in High Dose Rate Environment (論文査読中)

○ 特許

- 特許公開:特開2019-138665「甲状腺モニタ用可搬型放射線測定器及び測定方法」(平成30年2月6日出願、令和元年8月22日公開)

17

○ 口頭発表(国際会議)

- 5th Asia Radiation Dosimetry Group annual meeting (ARADOS-5) (令和元年11月6日～8日、中国)
 - Y. Tanimura et al.: Development of thyroid dose monitoring system using gamma-ray spectrometers
- 4th Asia Radiation Dosimetry Group annual meeting (ARADOS-4) (平成30年10月17日～19日、韓国)
 - Y. Tanimura et al.: Conceptual design of thyroid dose monitoring system using gamma-ray spectrometers

○ ポスター発表(国際会議)

- 5th Asia and Oceanic IRPA Congress on Radiation Protection(AOCP-5) (平成30年5月20日～23日、オーストラリア)
 - Y. Tanimura et al.: Characteristics of spectrometer and shield for thyroid dose monitoring system in high dose rate environment.
 - H. Yoshitomi et al.: A new method to evaluate radioiodine activity in thyroid by the gamma spectroscopy measurements using a simplified physical phantom incorporated with numerical simulations
- 5th European IRPA Congress(平成30年6月4日～8日、オランダ)
 - S. Nishino et al.: Conceptual design of thyroid dose monitoring system using gamma-ray spectrometers

○ 口頭発表(国内学会)

- 日本原子力学会2020年春の年会 (令和2年3月、学会中止のため予稿発表のみ)
 - 谷村 他: エネルギー分析型甲状腺放射性ヨウ素モニタの開発 モニタの製作と測定手法の開発
- 日本原子力学会2019年春の年会 (平成31年3月19日～21日、茨城大学)
 - 谷村 他: エネルギー分析型甲状腺放射性ヨウ素モニタの開発 (4) 試作機の製作と特性試験
- 日本原子力学会2018年春の年会 (平成30年3月26日～28日、大阪大学)
 - 谷村 他: エネルギー分析型甲状腺放射性ヨウ素モニタの開発 (1) 全体概要
 - 谷村 他: エネルギー分析型甲状腺放射性ヨウ素モニタの開発 (2) 検出器及び遮蔽体の最適化
 - 谷村 他: エネルギー分析型甲状腺放射性ヨウ素モニタの開発 (3) 頸部ファントム及び定量法の開発

18

【自己評価】 進捗状況及び成果公表

(1) 進捗状況(平成31年度)

① 甲状腺モニタ測定器の開発

- 公衆用及び作業用者の甲状腺モニタシステムについて製作を完了
- γ 線標準場において動作試験を行い、測定性能を評価

⇒「実機の製作」を達成

③ 甲状腺モニタシステムの開発

- 被検者と検出器の配置の正確な決定に用いる標準化用治具を3Dプリンタで製作
- 平成30年度に製作した試作機について、簡易マニュアルを作成し、甲状腺簡易測定研修においてデモンストレーションを実施
- 甲状腺モニタシステム実機の使用法に係るマニュアルを作成し、成果報告書に含めた

⇒「標準化用治具の作製及びマニュアルの作成」を達成



概ね計画どおりに実施でき、目標を達成できた

環境モニタリング線量計の 現地校正に関する研究

産業技術総合研究所
黒澤忠弘

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

課題名 環境モニタリング線量計の現地校正に関する研究

研究期間: 平成30年～令和1年(2年間)

背景・目的

現在、全国にはNaIモニタや電離箱モニタによるモニタリングポスト等、約5,000台が設置されている。モニタリングポストは、保守管理者(メーカー)により点検・調整がなされているものの、物理的な設置条件が特異的であったりバックグラウンド線量率が高いなどの条件であったりという状況も存在する。本研究では、保守点検や日本分析センターで行われている現地校正が困難な、高バックグラウンド環境下での現地校正技術の確立を目的とする。

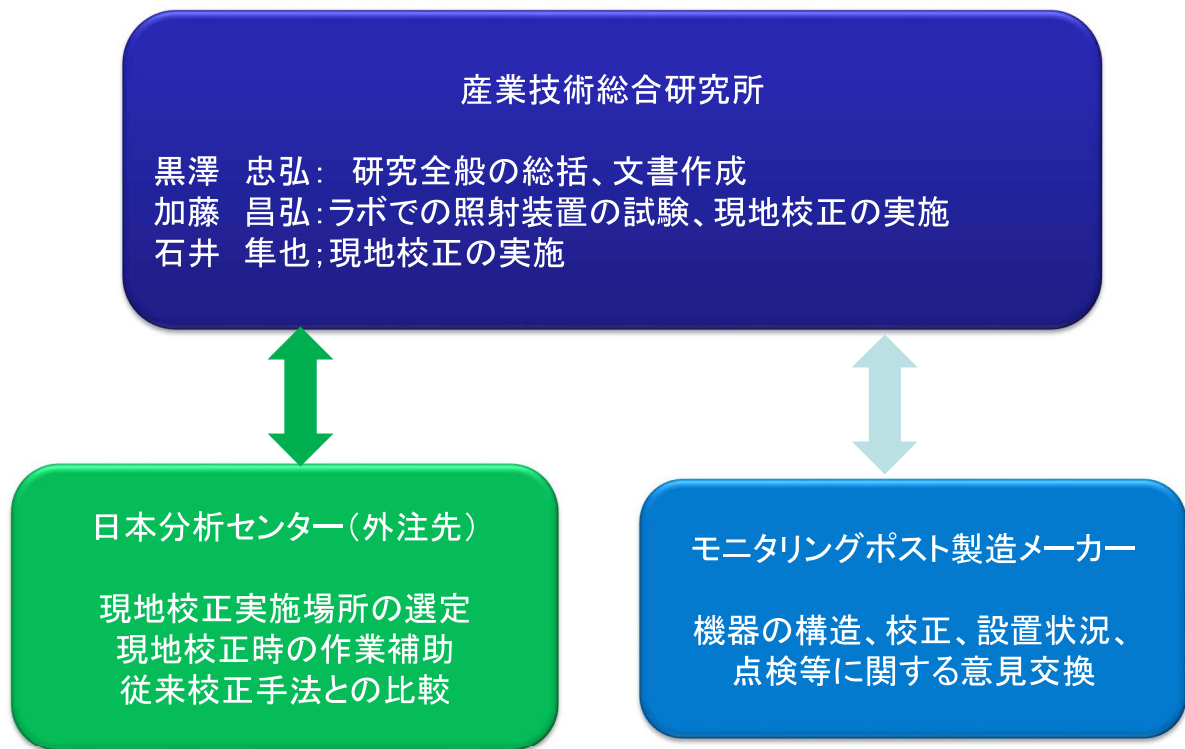
実施状況

	H30年度	H31年度
・校正手法の確立	現地の設置状況、バックグラウンドの調査 	現地における遮蔽性能評価・校正の実施
・不確かさの評価		代表的なモニタリングポスト校正に対する不確かさ評価
・マニュアル化		不確かさ評価も含めた校正手法の文書化

期待される成果

福島県等の高バックグラウンド線量下に設置しているモニタリングポストの測定値の品質を適切に維持していくことが可能となる。また、本現地校正手法は、今後の原子力災害時における現地校正の基盤技術として活用することが期待される。ISOへの国際規格化のための提案や、国内規格であるJISへの取り込みの働きかけを行う予定である。

研究実施体制



国立研究開発法人 産業技術総合研究所

今年度の研究概要

背景

- 現在、全国にはNaIモニタや電離箱モニタによるモニタリングポストや、電子式線量計及び可搬型モニタリングポスト等を合わせ、約5,000台が設置されている。
- このうち、原子力規制庁が福島県内及びその周辺自治体に設置している可搬型モニタリングポストは、約700台となっている。
- これら機器によるデータの信頼性確保のため、点検・調整のみならず校正に関しても適切に実施されることが求められ、その手法や考え方に対する課題を解決する必要がある。
- これら可搬型モニタリングポストは、保守管理業者(メーカー)により点検・調整がなされているものの、物理的な設置条件が特異的であったりバックグラウンド線量率が高いなどの条件であったりという状況も存在する。
- 国際的には不確かさまでが評価されていてトレーサブルな校正を実施することがスタンダードであり、世界にモニタリングデータを発出している我が国にも求められていることである。



本研究では、保守点検や日本分析センターで行われている現地校正が困難な、**高バックグラウンド環境下での現地校正技術の確立**を目的とする
 (あらゆる条件下にも適用可能な標準的な校正手法)

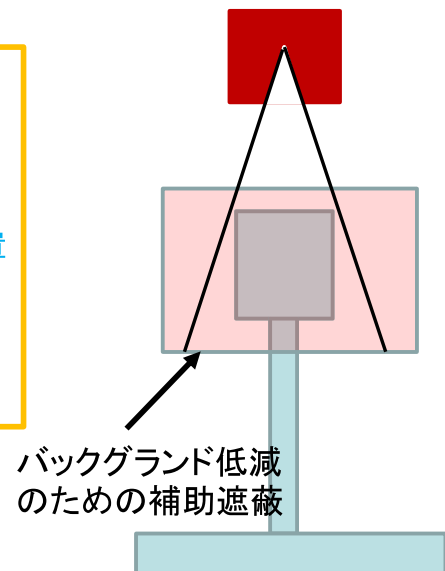
モニタリングポストの現地校正の課題点

- 高バックグラウンド
 - 安定した校正を行うには、校正時の線量に比べて優位な差がある状態にすべき(バックグラウンドのゆらぎが校正の照射時にも加算されるため)
- 設置状況のばらつき
 - ソーラーパネルや蓄電池、通信機器等の機器が、検出器周辺に様々な位置に配置されている。散乱線の寄与、またその不確かさの評価が非常に困難となっている
- 不確かさの評価
 - ISO4037やJIS Z4511に示されるように、校正定数に不確かさを付与するのは不可欠



研究開発の目的

- バックグラウンドを低減させた現地校正手法の確立
 - 検出器部分を遮蔽し、バックグラウンドを低減(高バックグラウンド環境への対応)
 - ⇒校正時線量の1/10程度を目標
 - 設置環境や周辺装置に依存しないコリメート照射(設置環境のばらつき)
 - 代表的なモニタリングポストに対する校正の不確かさ評価(ISOやJISを意識した校正品質の向上)



- 校正手法のマニュアル化(規格化)
 - 一般に広く用いられるよう、不確かさ評価方法も含めたマニュアル化
 - ISOやJISへの取入れを働きかける

全体スケジュール

	H30年度	H31年度
・校正手法の確立	現地の設置状況、バックグラウンドの調査 ←→ 垂直照射、補助遮蔽材の製作、試験	現地における遮蔽性能評価・校正の実施 ←→
・不確かさの評価		代表的なモニタリングポスト校正に対する不確かさ評価 ←→
・マニュアル化		不確かさ評価も含めた校正手法の文書化 ←→

今年度の進捗

・福島県内の高線量地域での現地校正の実施

－ 現在の線量率が1 μ Sv/hを超える2か所の観測点で、2ケースの校正を実施

ケース1

- ・日本分析センターが所有する可搬型モニタリングポストを現地に持ち込み本研究で開発した手法で校正
- ・事前に日本分析センター敷地内で実施した従来手法による校正結果と比較し、妥当性を確認



ケース2

- 現地に設置されているモニタリングポスト2台に対して、本研究で開発した手法で校正



日本分析センター所有の可搬型モニタリングポストの校正結果

本研究で開発した手法による福島県内での現地校正結果

校正実施地点	遮へいなしBG (μGy/h)	遮へいありBG (μGy/h)	遮へい効果 (%)	照射時指示値 (μGy/h)	校正定数
石熊	2.81	1.50	53	5.43	1.06
夫沢	3.74	1.72	46	8.65	1.07

日本分析センター敷地内で行われた従来手法による校正結果

(基準電離箱を現地に持ち込み、検出器から真上1.5mの位置に線源を設置し、線量率を測定。その後、線源をモニタリングポストの真上に設置して校正を行う。現地で微小な電流測定を行う必要があり、また線源位置も正確に設置することから5時間程度かかる。)

核種	γ線エネルギー (keV)	校正距離 (m)	線量率 (μGy/h)	校正定数	不確かさ* (%)
¹³⁷ Cs	660	1.5	0.83	1.06	7.5



- バックグラウンド低減のための遮へい効果は約50 %程度であった。
- 未除染地域に設置して実施したため、真下からのγ線がBGとして寄与する部分が多かった。
- 分析センターの事前の校正結果とほぼ同等の結果となり、現地校正手法の妥当性が確認できた。

現地に設置されているモニタリングポストの校正結果

本研究で開発した手法による福島県内での現地校正結果

校正実施地点	遮へいなしBG (μGy/h)	遮へいありBG (μGy/h)	遮へい効果 (%)	照射時指示値 (μGy/h)	校正定数
石熊	1.61	0.72	45	2.96	1.09
夫沢	3.45	1.55	45	7.14	0.85

- 低減により、バックグラウンドを約45 %まで低減させることができた。
- 2地点における校正結果について、ばらつきが見られた。
⇒メーカーによる点検結果との整合性について検討

メーカーによる点検結果

設置場所	点検実施日	核種	γ線エネルギー (keV)	線量率 (μGy/h)	誤差 (%)
石熊	令和元年10月10日	¹³⁷ Cs	660	2.7	-8.1
夫沢	令和元年10月16日			2.7	+6.7

⇒点検結果と同様の傾向

• 校正時の不確かさ評価

不確かさの要因	相対標準不確かさ(%)
基準線量計校正	1.4
内挿による線量率の不確かさ	1.6
照射位置設定	1.9
不均一照射	0.6
BGおよび照射時のばらつき	0.4
相対標準不確かさ	2.9
相対拡張不確かさ($k = 2$)	5.9

・不確かさ評価から見た本手法の利点

- 周辺機器からの散乱線の影響による不確かさの項目が不要
非コリメート線源を用いた場合、条件により2%～10%程度の影響あり
(シミュレーションによる評価)
- 基準電離箱を用いずコリメート照射により、不確かさ評価が簡便になった

成果について

- コリメート線源によるバックグラウンドを低減させた校正手法の開発
 - 従来手法と比較を行い、高バックグラウンド環境下においても正確に校正が行えることを確認
 - 照射時の1/10をバックグラウンド低減のための目標としたが、遮へい効果は約50%程度、結果として照射時の1/4～1/5程度となった。
 - 従来法に比べて、校正に要する時間を大幅に短縮
(5時間程度⇒1時間程度)
 - 通常バックグラウンド環境下でも活用できる手法であり、遮へい体を設置する必要がないことから、より校正時間を短縮できる
 - 不確かさの見積もりが容易であり、ユーザーは本手法を容易に利用可能

自己評価

評価の視点	自己評価	コメント
評価時点までの研究の実施が研究計画に沿って行われているか	1 計画を上回る ② 概ね計画どおり 3 計画を達成できない 4 計画を達成できないが代替手段によって今年度の目標を達成した	現地調査を行い、高バックグラウンド環境下のモニタリングポストの設置状況を把握できた。これをもとに照射装置等を作成し、従来手法との比較を行った。
今年度の進捗や達成度を踏まえて、次年度の研究計画に変更が必要か ^{※1}	1 必要ない 2 軽微な変更が必要 ^{※2} 3 大幅な変更が必要 ^{※2}	

評価時までの研究成果

- ・現地校正手法について、アジア線量評価グループ (ARADOS) にて発表 (R1年11月)
- ・アジア環太平洋計量プログラム (APMP) 放射線技術委員会 (TCRI) ワークショップにて発表 (R1年11月)
- ・日本保健物理学会にて発表 (R1年12月)
- ・ISO TC85/SC2 WG2 (基準放射線場) において、研究代表者がプロジェクトリーダーとなり、現地校正手法も含めた低線量率校正に関する規格を作成中。

評価結果のコメントへの対応

・ 成果報告会でのコメント

- 高バックグラウンド線量率下でのモニタリングポストの現地校正が短時間で可能となった点は評価できる。不確かさの評価と校正定数の決め方の相違、今後の課題、及び一般的な活用に向けた提言を報告書に書き込まれたい。

・ コメントへの対応

- 本研究で開発した校正手法についての手順、また不確かさの評価例について報告書にまとめた。(報告書:6章)
- バックグラウンドの低減について本手法では約55%となっており、よりバックグラウンド線量率の高い地域で校正を行うには、追加で底面の補助遮蔽が必要となること、また一般に適応できるバックグラウンド線量率 (約30 $\mu\text{Sv/h}$) について報告書に記述した。(報告書:5.3)

研究成果の放射線規制及び放射線防護分野 への活用

- 福島県等の高バックグラウンド線量下に設置しているモニタリングポストの測定値の品質を適切に維持していくことが可能となる。また、本現地校正手法は、今後の原子力災害時における現地校正の基盤技術として活用することが期待される。
- 本手法を活用して校正を実施したいと考えている事業者に対して技術移転を進め、実用化を図る。
- ISOへの国際規格化のための提案を行い、原案作成を進めている。ISOが策定できた後、国内規格であるJISへの取り込みの働きかけを行う予定である。

平成31年度放射線対策委託費(放射線安全規制研究戦略的推進事業費)
放射線安全規制研究推進事業 成果報告会

科学的根拠に基づく合理的な安全管理の実現に向けた調査研究(重点テーマ)

放射線業務従事者に対する 健康診断のあり方に関する検討

主任研究者 山本尚幸
(公財)原子力安全研究協会

令和2年5月13日

全体概要

課題名 放射線業務従事者に対する健康診断のあり方に関する検討

研究期間:平成30年～平成31年(2年間)

背景・目的 放射線業務従事者に対する**特殊健康診断**については、放射線審議会等において、その**あり方**について長年に渡り様々に**議論の対象**となってきた。法制度上は**検査の省略**が行えることになっているところ、特殊健康診断の**実態調査**を行い、**理由や課題を整理**するとともに、**国際的な考え方、海外の実態も調査**する。

実施状況 平成31年度の実施項目は主として4点。実施時期に若干の遅れはあったが、当初予定通りに実施。

1 アンケート調査:平成30年度、実施者側(362件、33%)、受診者側(6148件、61%)に加え、**実施者側の医療施設について追加**

実施者側	原子力施設	放射線施設	医療施設(115件、23%)	産業医
受診者側	原子力施設	放射線施設	医療施設	—

➢ 医療施設でも省略は2%

2 国内各施設へのインタビュー調査:アンケート結果の**理由の深掘り、内規・実施要項の確認**

原子力施設 9件	放射線施設 2件	医療施設 1件	健康診断実施機関 2件	関連学協会・団体 2件
-------------	-------------	------------	----------------	----------------

➢ 医師の判断によるところが大きい
➢ 法令の規定にあるものは省略しづらい
➢ 対象者の振分けが煩雑
➢ 特定健康診断との兼ね合い

3 国際的な考え方と海外実態の調査

国際的考え方(8月)	IAEA、ILO、HSE(英国)に加えて、ICRP(来日時)
各国の状況(11月)	17か国72件(同じ国からの複数回答あり)

➢ 放射線防護の観点だけからは不要
➢ 特殊健康診断の目的を考えることが重要
➢ 法令による規程はアジア諸国で多い
➢ 線量だけで判断し、健康診断を課さない国も

4 班会議でのディスカッションによるまとめ

- リスクの程度に応じた適切な検査の実施と省略(高線量被ばく時の眼の水晶体の散瞳による検査/5mSv以下)
- RI法^{*1}と電離則^{*2}の規定や表記の不整合の統一(法令の目的も踏まえた検討)
- 放射線業務労働者に対する健康診断のあるべき姿を特殊健康診断と特定健康診断の双方について総合的に検討する必要

*1 放射性同位元素等の規制に関する法律(以下、RI法)、*2 電離放射線障害防止規則(以下、電離則)

期待される成果

- ・長年継続されてきた特殊健康診断に関する議論に対し、省略がされていない理由や課題の整理
- ・放射線審議会での議論へのインプット(実態調査を踏まえて、放射線防護上の意義について議論)

研究班の構成

役割	氏名	所属	専門分野
主任研究者	山本尚幸	原安協	産業医、被ばく医療
総括補佐	杉浦紳之	原安協	放射線防護
アンケート調査	大久保靖司 黒田玲子 山本健也	東大	産業医、産業保健
アンケート調査	大野和子	京都医療科学大	放射線科医
アンケート分析	高嶋隆太 伊藤真理 福田一斗	東京理科大	社会システム工学
海外調査	飯本武志	東大	放射線防護
海外調査	酒井一夫	東京医療保健大	放射線防護(ICRP委員)
規制課題の整理	米原英典	原安協	放射線規制科学

医師(放射線科・緊急被ばく医療、産業保健)と放射線防護の専門家(ICRP委員、国際動向、規制科学)の必要な分野の専門家で構成

3

研究の概要(1): 背景・目的

ICRP2007年勧告の国内制度等への取入れについて — 第二次中間報告 — (平成23年1月)

- 放射線防護・管理システムが進展した現在において、異常な被ばくの事実の発見および放射線作業環境の欠陥を、定期的特殊健康診断に求めるべきではない。

ICRP2007年勧告の国内制度等への取入れの進め方について (平成30年1~6月)

- 健康診断は、各法令によって書きぶりに違いがあるものの医師の判断で柔軟に対応出来る仕組みになっている。
- 放射線業務従事者の健康診断の運用状況についてヒアリングし、制度の趣旨に沿った対応がとられているかを把握する。

本研究は、放射線業務従事者に関する健康診断の実態を調査し、その意義や有効性を科学的に検討する。

【参考1】法令における健康診断の書きぶりの違い

【RI法(障害防止法*1)・薬機法*2・船員法】

年1回

血液、皮膚及び眼の検査・検診については医師が必要と認める場合に限って実施する。

【電離則】

年2回

血液、皮膚及び眼の検査・検診については医師が必要でないと認める時は検査の全部又は一部を省略する事が出来る。

前年及び当該年度に実効線量が5ミリシーベルトを超えない者に対して血液、皮膚及び眼の検査・検診を医師が必要と認めない時には行うことを要しない。

【人事院規則10-5*3】

年2回

血液、皮膚及び眼の検査については医師が必要でないと認める時は検査の全部又は一部を省略する事が出来る。

前年及び当該年度に実効線量が5ミリシーベルトを超えない者に対しての血液、皮膚及び眼の検査は、医師が必要と認めるときに限りその全部又は一部を行うものとする。

*1 放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律(以下、障害防止法)
 *2 医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律(以下、薬機法)
 *3 人事院規則10-5:職員の放射線障害の防止、(以下、人事院規則10-5)

研究の概要(2):ロードマップ(計画と進捗)

	H30 6 9 12	H31 3	H31 6 9 12 3	H32 3
班会議	← 年4回程度、方針・内容確認、結果のまとめ、考察について共有する。 →		△	△
アンケート調査	準備 → 実施 → 解析 設問の確定 ← 各所で内容説明 協力に依頼 → アンケート配布/回収/分析		医療施設対象 △ 配布 倫理審査に時間を要したが、予定通り実施 内規、要領の分析 → インタビュー調査で対応	△ 回収、集計
状況整理	調査・論点整理 △ 情報収集開始 → 情報のとりまとめ △		本年度の実施予定なし	
海外調査	概要調査 △ アジア各国 状況調査 → △ 欧米各国 状況調査 → △ 情報のとりまとめ		準備 現地調査 まとめ △ 8月、欧州、国際機関 △ 11月、ICRPシンポ、各国状況	
あり方の検討		素案作成 関係者ヒアリング	意見交換とまとめ 班会議、関係者打合せで実施	

本年度の進捗(1): アンケート調査

※国立病院の技師長会を通じ、アンケート票を500枚配布し、115枚回収(回収率:23%)

○健康診断(検査)の機会と回数

	一般健診とは別に年2回	一般健診で1回別に1回	一般健診で1回1回は省略	実施しない(2回とも省略)	その他	未回答	回答数
原子力施設	13%	75%	1%	0%	5%	6%	178
放射線施設 一般企業	25%	40%	5%	5%	10%	15%	20
放射線施設 大学	67%	24%	2%	0%	4%	4%	55
医療施設	28%	64%	2%	0%	6%	0%	115
産業医	7%	53%	6%	3%	2%	9%	108

○実態: 医療施設(実施者側)の結果は、昨年度の全体の傾向と大きな変わりはなかった。

- ・特殊健康診断の年1回の省略、年2回の省略をしている施設は、それぞれ数%にとどまった。
- ・線量(年5mSv超と5mSv以下)により区別した運用もあまり行われていない(原子力施設では8%)。
- ・省略をしない理由は、「異常がないことを確認」、「法令の定めによる」、「省略の手続きが煩雑」、「省略する積極的な理由なし」などが拮抗した。
- ・受診者は特殊健康診断を一般健康診断と区別しており、9割が健康診断の結果確認をしていた。
- ・受診者の5-6割は、特殊健康診断の受診目的を「健康状態に異常がないことの確認」と捉えていた。

7

本年度の進捗(2): インタビュー調査

※アンケート結果がなぜそうなっているかの理由・原因、考え方、課題などを深掘り

○インタビュー先

原子力施設:9件 電力、協力会社	放射線施設:2件 大学	医療施設:1件 病院	健康診断実施機関:2件	関連学協会・団体:2件 (ガイドライン制定にあたっての論点等)
---------------------	----------------	---------------	-------------	------------------------------------

○得られた主な意見:

- 医師の判断が必要である
 - 省略する場合、実施する場合もどちらにしても、医師の判断が必要
 - 医師が判断する場合、安全側に留意した判断にならざるを得ない
 - 労務管理・放射線管理側で線量区分(5mSv以下)のリストを作成しても、医師の判断が必要であり、省略にならない
 - (労務管理担当者・放射線管理担当者が)線量だけで判断できるなら、省略は進むと思う
- 法令の規定にあるものは省略できない
 - 入域先の管理区域の立入の可能性を考え、幅広に受診者を設定することになる
 - 厚生労働省局長通達(参考2)で、検査を希望する者の省略は適当ではないとある
- 対象者の振分けが煩雑
 - ①5mSv超/以下で分け、②5mSv以下について医師が個々に省略の判断をし、③検査結果の確認をし、④更に総合的な判断を行うのは煩雑で非現実的
 - 厚生労働省様式(参考3)に基づく健康診断の流れでは、医師は最後に意見や診断を述べる手順となっており、問診(被ばく歴の評価)に基づく省略の判断を途中では行いづらい
- 特定健康診断との関係性を検討する必要がある
 - 特定健康診断(参考4、一般健康診断を年2回)には線量区分がなく、省略ができない
 - 特定健康診断と特定健康診断を同時に実施する場合、特定健康診断で年2回採血をするなら、特殊健康診断だけを省略する意味合いは小さい

本年度の進捗(3): 海外調査

ICRP, IAEA

- 放射線防護の観点**だけ**からは、確定的影響に着目した**血液検査、眼・皮膚の検査は不要**
 - 放射線作業環境の改善、放射線管理実務の進展とともに、**個人モニタリングが確実に実施されているため**
 - IAEA: GSR Part3 (BSS), GSG-7 “Occupational Radiation Protection”(2018)は、joint sponsorがいて、**放射線防護以外の観点からも記述があることには留意する必要**

ILO

- 有害業務の健康診断の**目的**を考えることが重要
 - 定期: (1)有害業務による**障害の発見・予防**、(2)従事を継続できるかの**適合性の判断**、(3)法的な備え など
 - 就業前: ベースラインの把握
 - 近年、BSSなど国際機関の文書において呼吸器系(全面マスク)や皮膚(非密封作業)について記述が見られるようになったが、**障害の発見**という意義が薄れた一方で、**適合性について重視**されるようになったこと

の表れ。

- ILOの考え方: 規制と使用者、労働者3者のバランス(調和)を保つ

各国の状況

- アジア諸国で法令要件となっている場合が多い(**日本を参照、放射線利用の歴史が浅い**)
- 健康診断の意義を放射線防護の観点で考えるのは、**高線量被ばくの場合のみ**
 - 雇用者と労働者(家族含む)のコミュニケーションツール(何もないことを示す)と位置づけ(主として欧州)
 - 従事者の被ばくの影響を雇用者の責任で確認をする必要はなく、健康は個人の問題(主として北米)
- 英国では、6mSv/年以下の作業者には**医学的監視が課されない(線量のみで判断)**

本年度の進捗(4): 論点整理・その他の視点

- リスクの程度に応じた適切な検査の実施と省略
 - 厚労省: 「眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会」から
 - (医療施設など)十分な放射線防護を行っても、**なお高い被ばく線量を眼の水晶体に受ける可能性のある労働者は、健康診断の項目の白内障に関する**眼の検査の省略は認めないことが適当**である。**
 - 必要に応じて**散瞳による水晶体の観察**を伴う検査等を行うため、当該労働者に対する健康診断の項目の白内障に関する**眼の検査は、眼科医により行われることが望ましい。**
 - 中央労働災害防止協会: 「電離放射線障害防止規則の解説」から
 - 実効線量が**5mSvを超えない放射線業務従事者**については、**医学的検査は原則不要**
 - 被ばく線量の値が低い放射線業務従事者に対しては、健康診断における**医学的検査の必要性が減じられるべきものであり、それでもなお医学的検査が必要と判断するには、被ばく歴の有無の調査の結果から、当該被ばく線量の値に疑問を持つべき要素があるか、放射線の影響によると疑われる**自己覚症状が認められる**ことが必要である。**
- 法令間の規定や表記の不整合の統一(参考1)
 - 頻度: **年1回**(RI法)と**年2回**(電離則)
 - 省略のための医師の判断: 「**必要と認める場合に実施**」(RI法)
「**必要でないと認める時に省略**」(電離則)
「**必要と認めない時には行うことを要しない**」(電離則、5mSv以下)
 - 複数の法令による規制がかかる場合、**厳しい方の規定に従うことになる**
大学では、**学生・院生は労働者ではないのでRI法のみ**(注: 電離則と同様な運用をしている大学もある)

本年度の成果：特殊健康診断のあり方の提言(1)

- ・ 評価委員会(2/10)による評価結果のコメントへの対応
 - さらに一步踏み込んだ「提言」を報告書に記載されたい。

本研究のまとめ：論点と課題

●実態

- 1) 「制度の趣旨に沿った対応がとられているか」(放射線審議会の議論)への回答
 - ・ 趣旨に沿った対応がとられているとは言い難い
 - ・ 年1回の省略、年2回の省略はいずれの施設でも数%に留まり、年5mSvの線量による区別した運用を行っている施設は、最も多い放射線施設(大学)で38%であった。
 - ・ 電離則の解説書によれば、
 - 5mSv以下の労働者：原則、被ばく歴の有無の調査及びその評価のみを行えばよい
 - 線量の低い労働者については、医学的検査の必要性が減じられるべきもの
 - それでもなお医学的検査が必要と判断するには、被ばく線量の値に疑問を持つべき要素があるか、放射線の影響によると疑われる自覚症状が認められることが必要

●省略がされていない理由

- 1) 医師の判断、医師の負担の大きさ
 - ・ 法令では、省略の判断について医師が行う規定となっており、医師の負担が大きい
 - ・ 5mSv以下で省略が行われていない場合も、多くは「省略できない、省略しない」という判断で検査が実施されていた。「実施が必要」と明示的に認めている場合は、その医師が特殊健康診断に確定的影響の発見以外に意義を見出している場合であった。
 - ・ 海外では、線量基準(年6mSv)のみで、検査の実施の判断がなされており、もし線量だけで省略の判断ができるならば省略はもっと進むのではというコメントを多く聞いた。

本年度の成果：特殊健康診断のあり方の提言(2)

2) 手続きの煩雑さ

- ・ 省略の判断には、被ばく歴の有無の調査を行い、その「評価」が重要とされている。
- ・ 特殊健康診断の手順は、
 - ・ 医師は対象者についてそれぞれ「被ばく歴の有無の調査及びその評価」を行う。
 - ・ 被ばく歴を有する労働者については、被ばくにかかる作業の場所、作業内容、作業期間、放射線障害の有無、自覚症状の有無、その他放射線による被ばくに関する事項について、問診等により把握して評価を行う。
 - ・ 事業者は、対象者について前回の健康診断実施後に受けた線量を医師に示す。
 - ・ 健康診断項目の省略の可否について、健康診断対象労働者各人ごとに総合的に判断する。
- ・ 大規模人数を抱える事業所においても登録システム(オンラインシステム)を導入するなどして、1回の特殊健康診断にあたり、医師が3度目を通しているところもあったが、多くの場合、最後の判定の際に1回確認をしている。
- ・ 特殊健康診断の効率化という観点から各人ごとに判断し、その結果から様々に振り分けて対応を取るのは煩雑に過ぎると考えられている。

●あり方の検討にあたっての論点

1) 特定健康診断との関係

- ・ 放射線業務は特定業務の1つであり、特定健康診断として一般健康診断を年2回受診する必要がある。特定健康診断にも省略規定はあるものの全部の項目の省略はできない。
- ・ 特定健康診断で採血をされるなら、たとえ特殊健康診断を省略したとしても、従事者への侵襲は変わらずあり、省略の意義は薄れる。
- ・ 特定業務は、「ラジウム放射線、エックス線その他の有害放射線にさらされる業務」として定められている。見直しの検討が行われていないことは明白であり、放射線の特定業務についての定義も現状の業務に沿ったものとなるよう改定の検討が進むことが期待される。

本年度の成果：特殊健康診断のあり方の提言(3)

2) 特殊健康診断の目的

- ・有害業務の特殊健康診断の目的には、①有害要因による障害の発見・予防、②当該作業の継続の可否(適合性)の判断など様々なものがある。現行の検査項目は、放射線の確定的影響に着目したもので、海外調査においても放射線防護の観点だけからは不要と明確な意見があったものである。
- ・作業環境や作業手順の改善、被ばく線量管理が進み被ばく線量が低減された現在では①の障害の発見の意義は低下し、むしろ、②の作業への適合性の判断について現行の検査項目はきちんと機能していて十分なものなのか、加えて、国際的にも議論されている(確定的影響ではない)皮膚や呼吸器疾患についての視点も必要ではないか。

3) 特殊健康診断の希望者の扱い

- ・平成13年の法令改正時に、日本労働組合総連合会からの意見・要望として、「経済団体等から要望が出ている放射線業務従事者の健康診断間隔の1年への延長について、労働者の健康を確保するとの目的と設定の考えを踏まえ慎重に検討すべきである。」が示され、現RI法では年1回とされているところ、健康診断間隔を1年に延長する予定はないと判断され、検査頻度は年2回のままとされた。
- ・局長通知(参考2)では、5mSv以下で省略できる規定にかかわらず、検査を希望する者については検査を実施することが望ましいとされている。
- ・アンケート調査やインタビュー調査の結果では、受診者側の意識としても線量が低いこと、放射線健康影響についての理解が教育訓練等で浸透していることなどを背景として、実施頻度を年1回とする意見は30%~50%程度あった。

本年度の成果：特殊健康診断のあり方の提言(4)

●あるべき姿に向けた法令改正の議論

1) リスクに応じた適切な検査の実施と省略

- ・有害物質については、管理や規制の考え方としてリスクに応じたものとするのが昨今当たり前になってきている。定期の特殊健康診断についても、リスクの程度に応じて適切な検査を実施するとともに、一方で省略が妥当なものについては省略すべきと考える。
- ・眼の水晶体の線量限度の引き下げに伴い、厚労省は、「高い被ばく線量を眼の水晶体に受ける可能性のある労働者は、白内障に関する眼の検査の省略は認めないことが適当である」、「散瞳による水晶体の観察を伴う検査等を行うため、白内障に関する眼の検査は、眼科医により行われることが望ましい」と報告書をまとめている。
- ・一方、実効線量が5mSvを超えない放射線業務従事者について、法令では、白内障の具体的な検査方法は規定されておらず、他覚的な所見を確認できているのかとの疑問も産業医に対するインタビューで得られたほか、所見が確認されたとしても放射線障害ではない他の原因(加齢等)と区別された対応が取られておらず、結果として特殊健康診断の意味、意義が不明確になっていることは否めない。

本年度の成果：特殊健康診断のあり方の提言(5)

2) 法令間の規定や表記の不整合の統一

- ・RI法と電離則とで下記のような規定の違いがある。実施基準等が法令間で食い違う場合、厳しい法令に沿った対応をとることになる。
 - 頻度：年1回(RI法)と年2回(電離則)
 - 省略のための医師の判断：「必要と認める場合に実施」(RI法)
「必要でないとき認めるときに省略」(電離則)
「必要と認めない時には行うことを要しない」(電離則、5mSv以下)
- ・法令にはそれぞれの目的があり、RI法は障害の防止、電離則は労働安全衛生法の労働者の保護という異なった目的から定められている。
- ・電離則では、特殊健康診断は有害業務に従事する者の健康診断として定められている。有害業務の健康診断の目的として、①その有害要因による障害の発見と予防、②その有害業務に適合性があるか、引き続き従事が可能かの判断などがある。
- ・線量管理が進んだ現在は、①の目的が薄れ、②の目的が重要視されてきており、国際機関(IAEA)や海外(英国)の指針に、皮膚の慢性疾患を持つ者の非密封作業、喘息持ちの者の呼吸保護具の着用等についての言及がされている。
- ・一方、現行の電離則では検査項目のみで検査方法についての規定はなく、例えば白内障の疑いの所見があった場合に①及び②について適切な判断ができる検査方法がとられているか疑問に感じているという医師の意見もインタビュー調査で得られた。
- ・放射線業務従事者に対しては、特定健康診断(一般健康診断を年2回)、特殊健康診断(血液、眼、皮膚を年2回)の両方が義務付けられている。それぞれの健康診断で、何を明らかにするのかという目的とそれを果たすための検査項目を議論することが必要である。特殊健康診断では確定的影響の障害の発見という目的のみを持たせ、特定健康診断で全般的な検査結果と合わせ適合性について判断することも1つの結論と考える。

本年度の自己評価

- ・昨年度実施したアンケート調査について、実施者側の施設区分として医療施設を加えた。
 - 配布数500に対して23%の回収率を得た(令和2年1月17日現在)。
- ・アンケート結果の考察に資するため、インタビュー調査を当初計画に基づき実施した。
 - 原子力施設、放射線施設、医療施設、関連学協会に対し、合計16件。
- ・海外調査については、国際的な最新の考え方(ICRP, IAEA, ILO, HSE)に関する調査(8月)ならびに各国(17か国、72件)の健康診断実施状況(11月)を実施した。
 - 当初、計画にあった北米は、ICRP及び米国について先方の来日時に対応。
- ・班会議を適宜開催し、研究協力者間での情報共有、意見交換を行うとともに、進捗管理を適切に行った。
- ・長年継続されてきた特殊健康診断に関する議論に関し、アンケート調査やインタビュー調査に基づいたエビデンスベースで、さらに国内及び国際的な最新の考え方について放射線防護並びに産業保健の幅広い観点から調査し、省略がされていない理由や課題の整理を実施した。これらのまとめは放射線審議会での議論へのインプットとなり、規制制度がどうあるべきかの議論に資するものと考えられる。
- ・予算の執行状況は、ほぼ100%となった。
- ・これらのことから、当初計画通りに研究は実施されたものと考えている。
- ・主任研究者のエフォート 10%

研究成果の放射線規制及び放射線防護分野への活用

- 本研究では、放射線業務従事者に対する特殊健康診断について長年継続されてきた議論に関し、アンケート調査やインタビュー調査に基づいたエビデンスベースで、さらに国内及び国際的な最新の考え方について放射線防護並びに産業保健の幅広い観点から検討を加え、実態把握と省略がされていない背景・理由や課題の整理を実施した。
- 水晶体の線量限度の引き下げに伴い、厚生労働省では、水晶体の特殊健康診断の省略の可否や実施方法についてすでに検討し報告書をまとめている。これを踏まえて、今後、放射線審議会においても議論が進められるものと考えられる。
- その議論においては、水晶体の検査だけにとどまらず、放射線業務従事者に対する健康診断全体についても検討されることが期待され、その議論において本研究の成果が資するものと考えている。

17

【参考2】 電離放射線障害防止規則第56条に規定する健康診断における被ばく歴の有無の調査の調査・評価項目及び健康診断の項目の省略等の可否について (厚生労働省労働基準局長、基発第568号、平成13年6月22日)

労働安全衛生規則及び電離放射線障害防止規則の一部を改正する省令(平成13年厚生労働省令第42号)により改正された電離放射線障害防止規則(以下「改正電離則」という。)については、平成13年3月30日付け基発第253号「労働安全衛生規則及び電離放射線障害防止規則の一部を改正する省令の施行等について」により、その運用を指示したところであるが、同通達中の記の第3の23の(9)により別途に示すこととしていた改正電離則第56条第1項第1号に規定する「被ばく歴の有無の調査及びその評価」の調査・評価項目及び同条第2項から第4項までに規定する健康診断の項目の省略等の可否の判断については、下記に示す事項に留意し、関係者への周知徹底を図るとともに、その適切な運用に遺漏なきを期されたい。

記

第1 改正電離則第56条第1項第1号に規定する被ばく歴の有無の調査及びその評価に係る調査・評価項目について

1 「その他放射線による被ばくに関する事項」について

改正電離則第56条第1項第1号に規定する被ばく歴の有無の調査において事業者が被ばく歴を有する者について調査及びその評価を行わなければならない項目については、作業の場所、内容及び期間、放射線障害の有無、自覚症状の有無その他放射線による被ばくに関する事項とされたが、そのうち「その他放射線による被ばくに関する事項」は、次の事項とすること。

- (1) 前回の健康診断までに受けた累積の実効線量
- (2) 前回の健康診断から今回の健康診断までに受けた実効線量並びに眼及び皮膚の等価線量

2 必要に応じ調査を実施し、その評価を行うことが適当である事項について

改正電離則第56条第1項第1号の評価に当たっては、同号において調査しなければならないとされている事項に加え、必要に応じ、次の事項について調査を実施し、当該調査結果を踏まえ評価を行うことが適当であること。

- (1) 雇入れ時又は放射線業務に配置替えの際の健康診断
 - ア 放射線業務以外の有害業務歴(業務内容、時期及び期間)
 - イ 喫煙習慣の有無及び1日の本数
 - ウ 既往歴の有無
 - エ 現在治療中の病気及び服用している薬の有無及びその内容
 - オ アレルギー等の有無及びその内容

(2) 定期的健康診断

ア 事業者より聴取すべき事項

- (ア) 健康診断を受ける労働者が作業を行っている作業場所の線量当量率
- (イ) 放射線測定器の装着状況(不均等被ばくの有無及びそれに対する対応状況)

イ 労働者より聴取すべき事項

- (ア) 放射線業務における電離放射線の種類
- (イ) 保護具の種類及び着用状況
- (ウ) 放射線業務以外の有害業務歴(業務内容、時期及び期間。ただし(1)アから変更がない場合は除く。)
- (エ) 喫煙の習慣の有無及び1日の本数
- (オ) 既往歴の有無
- (カ) 現在治療中の病気及び服用している薬の有無及びその内容
- (キ) 前回の健康診断後に発症したアレルギー等の有無及びその内容

第2 改正電離則第56条第2項から第4項までに規定する健康診断の項目の省略等の可否について

1 改正電離則第56条第2項に規定する健康診断の項目の省略について

次の(1)から(6)に示す業務については、第56条第2項の規定により健康診断の項目を省略することは適当でないこと。

- (1) 原子炉(臨界実験装置を含む。)施設における原子炉の運転及び原子炉周辺設備の保守点検の業務(中性子線にさらされるおそれのないことが明らかな区域での業務を除く。)
- (2) 次のような加速器を取り扱う業務(中性子線にさらされるおそれのないことが明らかな区域での業務を除く。)
 - ア 最大出力が6MeVを超える直線加速器
 - イ サイクロトロン、シンクロトロン及びシンクロサイクロトロン
 - ウ 陽子線、重陽子線その他の重荷電粒子線を発生させる加速器
 - エ その他中性子線が発生するおそれのある加速器
- (3) 中性子線を発生させる次の放射性物質を取り扱う業務(中性子線にさらされるおそれのないことが明らかな区域での業務を除く。)
 - ア ^{252}Cf
 - イ ^{226}Ra -Be及び ^{241}Am -Be
- (4) 核燃料物質(U、Pu及びTh)を取り扱う業務(核分裂を伴うおそれがないことが明らかな業務及び中性子線にさらされるおそれのないことが明らかな区域での業務を除く。)
- (5) 核融合実験装置を取り扱う業務(核融合を伴うおそれがないことが明らかな業務及び中性子線にさらされるおそれのないことが明らかな区域での業務を除く。)
- (6) エックス線装置又はガンマ線照射装置を使用する業務であって、露出した利用線錐に近づかざるを得ないような場合、長時間の透視又は撮影の作業を行う場合において照射中に受像器の後ろに待避せざるを得ない場合等、装置の仕様又は作業方法からみて当該業務に従事する労働者が眼に大量のエックス線又はガンマ線を受けるおそれのある業務

19

2 改正電離則第56条第3項に規定する健康診断の項目の省略について

次の各検査項目ごとに掲げる者については、第56条第3項の規定により、**当該検査項目を省略することは適当でないこと。**

(1) 白血球百分率

- ア 白血球百分率が生理的範囲外である者
- イ 業務上、1年間に250mSv以上の実効線量を受けたことのある者
- ウ 業務上、1年間に100mSv以上の実効線量を受けて5年間程度の期間を経過していない者
- エ 自他覚症状から白血球百分率に何らかの所見が認められることが疑われる者
- オ 前回の健康診断において、白血球百分率に異常所見が認められた者
- カ 業務内容からみて、大量の実効線量を受けていることが疑われる者

(2) 白血球数

- ア 白血球数が生理的範囲外である者
- イ 業務上、1年間に250mSv以上の実効線量を受けたことのある者
- ウ 業務上、1年間に100mSv以上の実効線量を受けて5年間程度の期間を経過していない者
- エ 自他覚症状から白血球数に何らかの所見が認められることが疑われる者
- オ 前回の健康診断において、白血球数に異常所見が認められた者
- カ 業務内容からみて、大量の実効線量を受けていることが疑われる者

(3) 赤血球数

- ア 赤血球数が生理的範囲外である者
- イ 業務上、1年間に250mSv以上の実効線量を受けたことのある者
- ウ 業務上、1年間に100mSv以上の実効線量を受けて5年間程度の期間を経過していない者
- エ 自他覚症状から赤血球数に何らかの所見が認められることが疑われる者
- オ 前回の健康診断において、赤血球数に異常所見が認められた者
- カ 業務内容からみて、大量の実効線量を受けていることが疑われる者

(4) 血色素量又はヘマトクリット値

- ア 血色素量又はヘマトクリット値が生理的範囲外である者
- イ 業務上、1年間に250mSv以上の実効線量を受けたことのある者
- ウ 業務上、1年間に100mSv以上の実効線量を受けて5年間程度の期間を経過していない者
- エ 自他覚症状から血色素量又はヘマトクリット値に何らかの所見が認められることが疑われる者
- オ 前回の健康診断において、血色素量又はヘマトクリット値に異常所見が認められた者
- カ 業務内容からみて、大量の実効線量を受けていることが疑われる者

(5) 眼

- ア 業務上、眼に**大量の放射線を受けたことがある者**
- イ **白内障を疑わせる自他覚症状のある者**
- ウ 前回の健康診断において**異常所見が認められた者**
- エ 業務内容からみて、**眼に大量の放射線を受けていることが疑われる者**

20

(6) 皮膚

- ア 業務上、皮膚に大量の放射線を受けたことがある者
- イ 皮膚疾患を疑わせる自覚症状のある者
- ウ 前回の健康診断において異常所見が認められた者
- エ 業務内容からみて、皮膚に大量の放射線を受けていることが疑われる者
- オ 前回の健康診断において、皮膚に外傷、熱傷、潰瘍等、放射性物質が体内に浸透しやすく、又は放射性物質により汚染されやすい疾患があると認められた者(非密封の放射性物質を取り扱う業務に従事する者に限る。)

(7) 各検査項目について、特に実施を希望する者

3 改正電離則第56条第4項に規定する健康診断の項目の省略等について

次の各検査項目ごとに掲げる者については、第56条第4項の規定にかかわらず当該検査項目を実施することが望ましいこと。

(1) 白血球百分率

- ア 業務上、1年間に250mSv以上の実効線量を受けたことのある者
- イ 業務上、1年間に100mSv以上の実効線量を受けて5年間程度の期間を経過していない者
- ウ 自覚症状から白血球百分率に何らかの所見が認められることが疑われる者
- エ 前回の健康診断において、白血球百分率に異常所見が認められた者
- オ 業務内容からみて、大量の実効線量を受けて、白血球百分率に異常所見が認められることが疑われる者

(2) 白血球数

- ア 業務上、1年間に250mSv以上の実効線量を受けたことのある者
- イ 業務上、1年間に100mSv以上の実効線量を受けて5年間程度の期間を経過していない者
- ウ 自覚症状から白血球数に何らかの所見が認められることが疑われる者
- エ 前回の健康診断において、白血球数に異常所見が認められた者
- オ 業務内容からみて、大量の実効線量を受けて、白血球数に異常所見が認められることが疑われる者

(3) 赤血球数

- ア 業務上、1年間に250mSv以上の実効線量を受けたことのある者
- イ 業務上、1年間に100mSv以上の実効線量を受けて5年間程度の期間を経過していない者
- ウ 自覚症状から赤血球数に何らかの所見が認められることが疑われる者
- エ 前回の健康診断において、赤血球数に異常所見が認められた者
- オ 業務内容からみて、大量の実効線量を受けて、赤血球数に異常所見が認められることが疑われる者

(4) 血色素量又はヘマトクリット値

- ア 業務上、1年間に250mSv以上の実効線量を受けたことのある者
- イ 業務上、1年間に100mSv以上の実効線量を受けて5年間程度の期間を経過していない者
- ウ 自覚症状から血色素量又はヘマトクリット値に何らかの所見が認められることが疑われる者
- エ 前回の健康診断において、血色素量又はヘマトクリット値に異常所見が認められた者
- オ 業務内容からみて、大量の実効線量を受けて、血色素量又はヘマトクリット値に異常所見が認められることが疑われる者

21

(5) 眼

- ア 業務上、眼に大量の放射線を受けたことがある者
- イ 白内障を疑わせる自覚症状が前回の健康診断後初めて発生した者
- ウ 業務内容からみて、眼に大量の放射線を受けて、白内障が認められることが疑われる者

(6) 皮膚

- ア 業務上、皮膚に大量の放射線を受けたことがある者
- イ 皮膚疾患を疑わせる自覚症状のある者
- ウ 前回の健康診断において異常所見が認められた者
- エ 業務内容からみて、皮膚に大量の放射線を受け、皮膚疾患が認められることが疑われる者
- オ 前回の健康診断において、皮膚に外傷、熱傷、潰瘍等の疾患が認められ、かつ、業務内容から見て、放射性物質が体内に浸透し、又は放射性物質により汚染されたことが疑われる者(非密封の放射性物質を取り扱う業務に従事する者に限る。)

(7) 各検査項目について、特に実施を希望する者

電離放射線障害防止規則

(健康診断)

第五十六条 事業者は、放射線業務に常時従事する労働者で管理区域に立ち入るものに対し、雇入れ又は当該業務に配置替えの際及びその後六月以内ごとに一回、定期に、次の項目について医師による健康診断を行わなければならない。

- 一 被ばく歴の有無(被ばく歴を有する者については、作業の場所、内容及び期間、放射線障害の有無、自覚症状の有無その他放射線による被ばくに関する事項)の調査及びその評価
- 二 白血球数及び白血球百分率の検査
- 三 赤血球数の検査及び血色素量又はヘマトクリット値の検査
- 四 白内障に関する眼の検査
- 五 皮膚の検査

2 前項の健康診断のうち、雇入れ又は当該業務に配置替えの際に行わなければならないものについては、使用する線源の種類等に応じて同項第四号に掲げる項目を省略することができる。

3 第一項の健康診断のうち、定期に行わなければならないものについては、**医師が必要でないと認めるときは、同項第二号から第五号までに掲げる項目の全部又は一部を省略することができる。**

4 第一項の規定にかかわらず、同項の健康診断(定期に行わなければならないものに限る。以下この項において同じ。)を行おうとする日の属する年の前年一年間に受けた実効線量が五ミリシーベルトを超えず、かつ、当該健康診断を行おうとする日の属する一年間に受ける**実効線量が五ミリシーベルトを超えるおそれのない者**に対する当該健康診断については、同項第二号から第五号までに掲げる項目は、**医師が必要と認めないときには、行うことを要しない。**

5 事業者は、第一項の健康診断の際に、当該労働者が前回の健康診断後に受けた線量(これを計算によっても算出することができない場合には、これを推定するために必要な資料(その資料がない場合には、当該放射線を受けた状況を知るために必要な資料))を医師に示さなければならない。

22

【参考3】電離放射線健康診断結果報告書

表面

様式第1号の2 (第57条関係) 電離放射線健康診断個人票

氏名	性別	男・女	生年月日	年月日	雇入年月日	年月日
放射線業務の経歴 (他の事業におけるものを含む。)	期間	年月日から	年月日から	年月日まで	年月日まで	①前回の健康診断までの実効線量 (mSv)
業務名						
被ばく歴の有無						
診断と処置						
健康診断年月日						
現在の業務名						
前回の健康診断後に受けた線量	外部被ばくによるもの(事故等によるものを除く。)(mSv)					
	内部被ばくによるもの(事故等によるものを除く。)(mSv)					
	⑥事故等によるもの(mSv)					
	計(mSv)					
	⑤事故等によるものを除くもの(mSv)					⑤
	⑥事故等によるもの(mSv)					
	計(mSv)					
	⑤事故等によるものを除くもの(mSv)					⑤
	⑥事故等によるもの(mSv)					
	計(mSv)					
血液	白血球数(個/mm ³)					
	リンパ球(%)					
	中性球(%)					
	異型リンパ球(%)					
	好中球					
	好酸球(%)					
	好塩基球(%)					
	赤血球数(10 ⁶ /mm ³)					
	血色素量(g/dl)					
	ヘマトクリット値(%)					
その他						
眼水晶体の混濁(有無)						

裏面

発赤(有無)				
皮膚乾燥又は縦じわ(有無)				
潰瘍(有無)				
爪の異常(有無)				
その他の検査				
全身的所見				
自覚的訴え				
参考事項				
⑦医師の診断				
健康診断を実施した医師の氏名印				
⑧医師の意見				
意見を述べた医師の氏名印				

- 備考
- ①の欄は、平成13年4月1日以後の実効線量の合計を記入すること。また、同欄の()内には平成13年3月31日以前の集積線量を記入すること。
 - ②の欄は、被ばく歴を有する者については、作業の場所、内容及び期間、放射線障害の有無その他放射線による被ばくに関する事項を記入すること。
 - ③の欄は、本票記載の健康診断又は検査までの期間に採られた放射線に関する医学的処置及び就業上の措置について記入すること。
 - ④の欄は、(1)事故、(2)緊急作業への従事、(3)放射線物質の摂取、(4)患部の汚染及び(5)別表に掲げる限度の10分の1以下にすることが困難な身体汚染によって受けた実効線量又は推定量(受けた実効線量を推定することも困難な場合には、被ばくの原因)を記入すること。
 - ⑤の欄は、東日本大震災により生じた放射性物質により汚染された土壌等を除去するための業務等に係る電離放射線障害防止規則の規定による健康診断の結果を記入する場合には、除染等電離放射線健康診断個人票の「外部被ばくによるもの(事故等によるものを除く。)」の欄に記入されている実効線量を記入すること。
 - ⑥の欄は、(1)事故、(2)緊急作業への従事及び(5)別表に掲げる限度の10分の1以下にすることが困難な身体汚染によって受けた等価線量又は推定量(受けた等価線量を推定することも困難な場合には、被ばくの原因)を記入すること。
 - ⑦の欄は、異常なし、要精密検査、要治療等の医師の診断を記入すること。
 - ⑧の欄は、健康診断の結果、異常の所見があると診断された場合に、就業上の措置について医師の意見を記入すること。

23

【参考4】特定業務従事者の健康診断、安衛則*1

(特定業務従事者の健康診断)

第四十五条 事業者は、**第十三条第一項第三号に掲げる業務に常時従事する労働者に対し、当該業務への配置替えの際及び六月以内ごとに一回、定期的に、第四十四条第一項各号に掲げる項目について医師による健康診断を行わなければならない。**この場合において、同項第四号の項目については、**一年以内ごとに一回、定期的に、行えば足りるものとする。**

2~4 省略

第十三条第一項第三号

ハ ラジウム放射線、エックス線その他の有害放射線にさらされる業務

第四十四条 事業者は、常時使用する労働者(第四十五条第一項に規定する労働者を除く。)に対し、一年以内ごとに一回、定期的に、次の項目について医師による健康診断を行わなければならない。

- 一 既往歴及び業務歴の調査
- 二 自覚症状及び他覚症状の有無の検査
- 三 身長、体重、腹囲、視力及び聴力の検査
- 四 胸部エックス線検査及び喀(かく)痰(たん)検査
- 五 血圧の測定
- 六 貧血検査
- 七 肝機能検査
- 八 血中脂質検査
- 九 血糖検査
- 十 尿検査
- 十一 心電図検査

染色体線量評価手法の標準化に向けた 画像解析技術に関する調査研究

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
数藤由美子（主任研究者）

1

研究概要(1)

課題名 「染色体線量評価手法の標準化に向けた画像解析技術に関する調査研究」
研究期間:平成30年度～平成31年度(2年間)

背景・目的

- 染色体解析、特に末梢血リンパ球培養による**二動原体分析法**は、鋭敏で最も信頼性の高い生物学的線量評価法として国際的に標準化されている。細胞培養から染色体画像撮影までは自動化が成し遂げられた。しかしながら、画像判定は依然として人間の目視によるため、**染色体判定基準の機関間および判定者間の変動が顕著**であること、また、**結果を得るまでの時間と労力が大きい**ことなどから、大規模放射線事故時に際し複数の機関が分析を行う場合に問題を生じることが予測される。
- 本研究(フィージビリティ・スタディ)では、染色体判定者の主観や習熟度の差に影響されない効率の良い自動画像分析技術として、**人工知能(AI)技術導入の有用性や実現可能性を試験・評価し、大規模放射線事故(特に初期のトリアージ段階)の被ばく医療診断支援への適用を検討する。**

期待される成果

- 染色体のAI自動解析技術の導入により、**生物学的線量評価の標準化・迅速化**(1検体につき実質30時間以上要していた目視検査が僅か10分程度で可能)が達成される。これにより**大規模放射線事故時における被ばく医療診断支援に大きく貢献**できる。

研究概要(2)

実施状況(当初の計画以上に進捗)

今年度(最終年度)は以下を実施

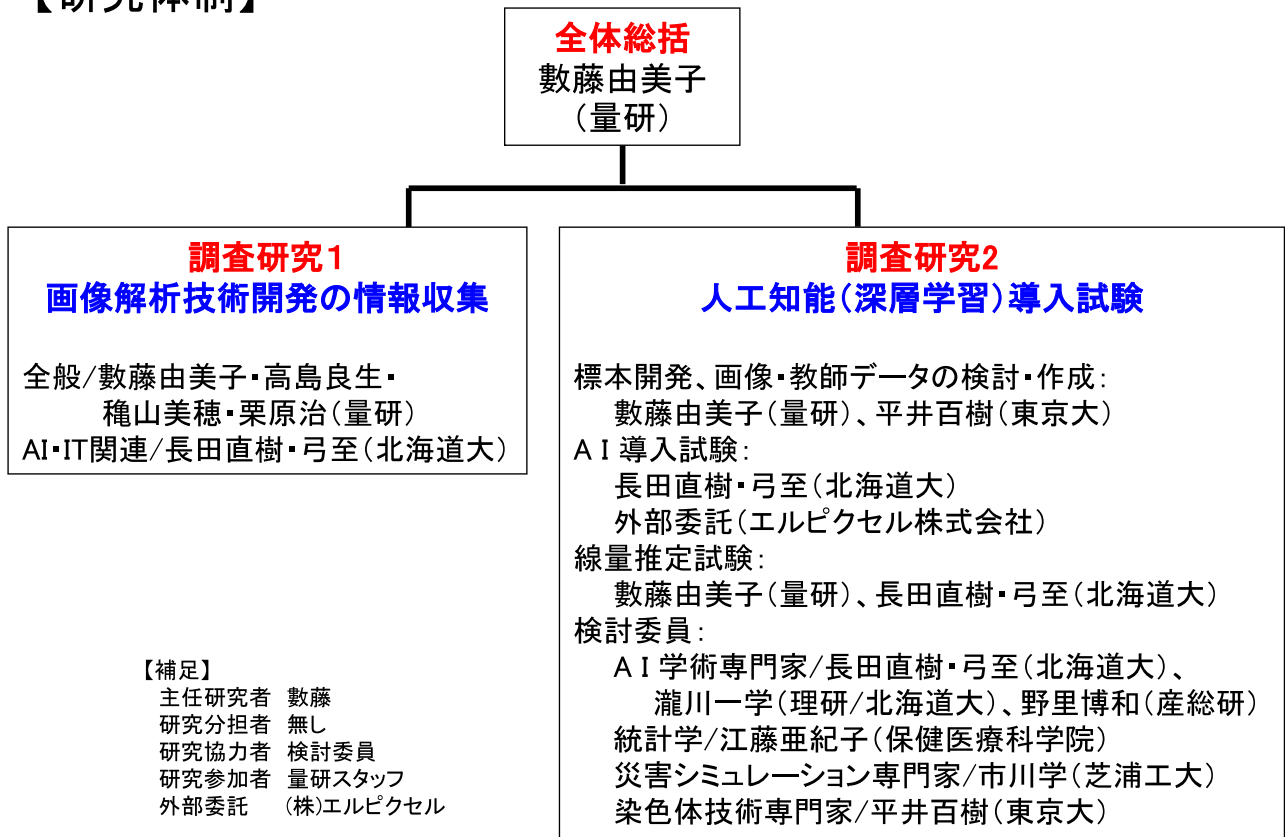
- ① 関連情報の収集・更新(随時)
 - ✓ 国際会議3件、国内学会3件、国際学会1件、英国PHE研究会合(統計解析手法の情報収集を含む)
 - ✓ 企業展示会(AI・人工知能EXPO)、AI関連企業ヒアリング7社、染色体検査会社ヒアリング1社→ AI技術導入試験の外部委託先候補を選定(入札により5月に1社決定)
- ② テスト用画像データ(0~5.0 Gy照射血由来)準備(前年度分を含め計14,688枚)
- ③ AI技術導入試験Phase 1の実施(プレ試験 5~6月、本試験 9~12月)
- ④ 検討委員会の開催(画像検討会 8回、各分野専門の検討委員による研究会合 3回)
- ⑤ 今後の研究課題の明確化(12月)
 - ✓ **基盤技術の構築**: 深層学習手法を導入した**学習モデルの試作**、**AIに適した標本・画像作成法の確立**[実際の運用で必要となる多検体対応の細胞培養法の確立(論文受理)を含む]、線量推定法の検討(最尤法・ベイズ法)
 - ✓ **AI導入の評価**: **試作モデル**で約50細胞の画像データ(**トリアージ・レベル**の線量評価対応の標準観察数)から、2 Gy未満と2 Gy以上の被ばくを判別できた(95%信頼区間の上限値をもとに線量推定)。
 - ✓ **線量推定作業の高度の効率化**: 1検体当たりの画像判定(1000細胞として)が、**実質30時間以上(目視)から10分(AI)へ**。
- ⑥ 本格開発研究準備開始、線量推定試験追加試験実施(1月~3月)

3

【ロードマップ】

実施項目	平成30年度	平成31年度
調査研究1: 染色体線量評価における画像解析技術開発の情報収集	情報収集	
調査研究2: 人工知能学習技術をはじめとする画像判別手法に関する調査 (サブテーマ: 数理統計処理に関する調査)	AI技術を用いた画像判別に関する調査(有識者検討会・試験) ▲ 情報収集開始 ▲ 試験の準備・実施	統計処理法の調査 (有識者検討会)
総括		とりまとめ (課題抽出・提言)

【研究体制】



5

【今年度実施概要1 背景と目的】

■ 染色体解析、特に末梢血リンパ球培養による**二動原体分析法**は、鋭敏で最も信頼性の高い生物線量評価法として国際的に標準化されている。細胞培養から染色体画像撮影までは自動化が成し遂げられた。ポアソン分布する染色体異常の画像判定は観察細胞数が多いが、分析の自動化は未だ完成されず、人力を頼っている。**染色体判定基準のラボ間・判定者間の変動は大きい(図1)**、結果を得るまでの**時間と労力が大きい**(1検体当たり1000細胞観察で、高度熟練検査者でも総目視時間30時間以上、労働期間にして3日以上かかる)ことから、**実際の事故対応に際しては大きな問題をはらむことが予測される**。これは実際に我々が2011年3~6月、福島原発事故緊急作業員12名の検査を実施した経験から得た教訓でもある[Y. Suto et al., Health Physics, 2013]。**画像判定の標準化・迅速化は長年の大きな課題**である。定性的な一般染色体検査(核型分析)と異なり膨大な観察細胞数が必要な二動原体分析でのAI技術導入の効果は絶大である。

■ 本フェーズビリティ・スタディでは、染色体検査者の主観や習熟度の差に影響されない効率の良い自動画像分析技術として、**AI技術の導入の有用性・実現可能性を試験・評価する**。**大規模放射線事故、特に初期のトリアージ段階での、被ばく医療診断支援への適用が期待される**。

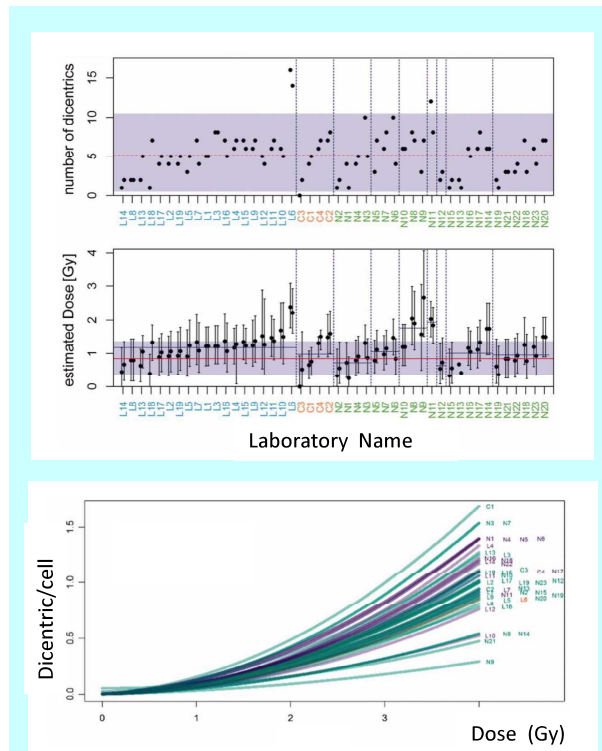


図1. 二動原体分析のラボ間比較 [U. Oestreicher ら(2017)より]。長年の訓練でもギムザ染色法による目視判定分析では、判定基準の統一化が難しい。ラボや人によって線量効果曲線は異なり(下図)、また同じ標本や画像を用いても、検出する染色体異常数や推定線量に違いが生じる(上図)。

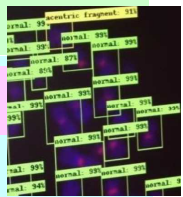
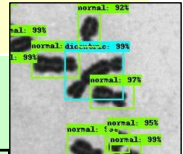
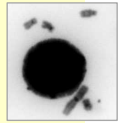
【今年度実施概要2 研究の流れ】

4~6月

AI導入試験
Phase 1 プレ試験

Faster R-CNN (畳み込みニューラルネットワークを利用した深層学習手法)

- ▶ 「COCOデータセット」(20万枚以上の一般的な画像)で形態を学習させる = 転移学習(少数データ対策)
- ▶ 少数のメタフェーズ画像で学習させる (66枚)
 - ・ 熟練者による教師データ作製(目視アノテーション)
 - ・ 教師データで深層学習
 → 性能評価試験(染色体の「検出」と「分類」の性能)
- ▶ 教師データを増やして効果を確認 (95枚)



7月~

教師データの最適作成法を確立・データ増加

教師データ増加 (0~5.0 Gy照射標本画像のアノテーション)

- ▶ AIによる自動アノテーション → 熟練専門家による修正
 - ・ 準備画像(12月末まで) 14,688枚

9月~

AI導入試験
Phase 1 本試験

AI 画像判定モデルの向上・評価・課題抽出

- ▶ 再学習による染色体の検出および分類の性能向上
- ▶ 線量効果曲線の試作・性能評価

1月~

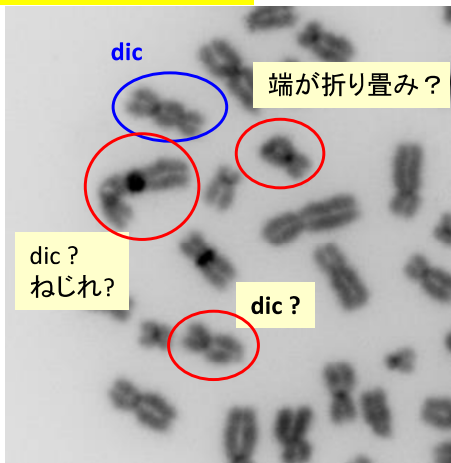
とりまとめ/2.0 Gy(800枚画像追加)線量推定試験・論文投稿準備/本格研究への準備

(注)一連の図は画像判別の進化をイメージしたもの

7

【今年度実施概要3 教師データ作成法】

単色染色 画像



PNA-FISH 画像

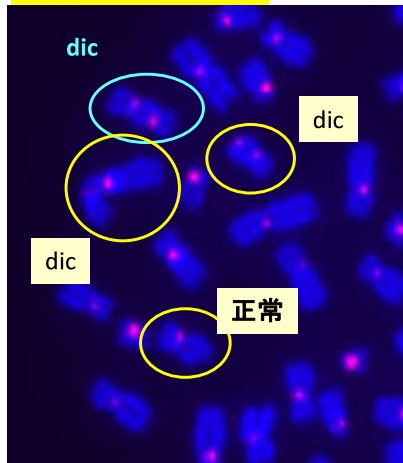


図2. メタフェーズ像(一部)。dic: 二動原体(dicentric)

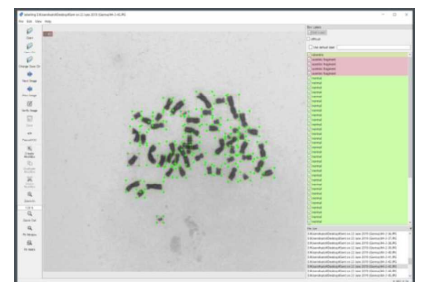


図3. Labellmgを用いたアノテーション実行イメージ。熟練者が染色体1個1個を矩形で囲み、分類名を与えることで教師データができる。

教師データ作成方法

- **ギムザ染色**では、目視画像判定に時間を要し、染色体のねじれなどを正確に判定することはできない(図2)。アジアネットワークの調査経験もあり(右解説参照)、本研究では、PNA-FISHの併用(単色染色による染色体形態検出と蛍光標識による動原体検出)により、**正確な教師データ**を作製することとした。Phase 1 プレ試験において、AI利用に最適な標本・画像作製条件を決定した。
- 教師データ作成ではアノテーション・ソフトウェア Labellmgを用いた(図3)。各画像上の染色体に分類名をラベルすると、位置情報を伴うXML形式で保存される。

アジアネットワーク 二動原体分析比較調査 2019

* 量研機構が実施(参加4カ国、11ラボ、32名、経験年数は2年~22年と多様)。本研究で作成した**単色染色画像**(3.0 Gy、200枚)で判定実施後、同一細胞の**PNA-FISH**画像を提供し判定、比較。(投稿論文準備中)

[結果]

PNA-FISH像では全ラボで採択細胞も判定も一致(推定線量3.0 Gy)。
→ **PNA-FISH**解析の精度の高さが証明された。

【今年度実施概要4 Phase 1・本試験の実施】

材料： 0～5.0 Gy照射の末梢血由来染色体画像 約15,000枚(内訳は表参照)

方法： AI導入本試験を実施し、AIによる画像判定支援の有効性を検証する。

1) 機械学習アルゴリズムを学習させるための正確なタグ(異常染色体・正常染色体など)を付したアノテーション済みのデータセットである画像1190枚(モデル学習の訓練用セット832枚、繰り返し検証用セット180枚、テスト用セット177枚)を用い、モデルの学習を行い、染色体の検出と分類の性能を調べる。

2) 1)のテスト用セットにより、線量効果関係を確認する。

3) アノテーションを行っていない残りの全画像のうち、染色体数42～50個の画像を用い、線量推定を試みる(最尤法とベイズ法)。

- ① 各線量からトリアージ・レベルの線量推定用のサンプルをとり(70枚×3セット)、残りのデータセットで線量効果曲線(式)を試作する。
- ② ①の線量効果曲線線に対して、2 Gy判別を試験する。(注)

表1. 画像の準備状況(上)および含まれる染色体の分類別個数(下)

線量 (Gy)	全画像枚数	アノテーション済み
0	1868	209
0.50	2260	0
1.0	2603	199
2.0	3630	217
3.0	2783	326
4.0	1432	127
5.0	112	112
合計	14688	1190

クラス分類	Total	⁶⁰ Co-ガンマ線照射における吸収線量					
		0 Gy	1.0 Gy	2.0 Gy	3.0 Gy	4.0 Gy	5.0 Gy
Normal	52717	9460	9080	9717	14337	5341	4782
Dicentric	598	2	15	68	197	145	171
Fragment	998	2	26	103	353	236	278
Others	137	16	5	14	51	17	34

9

(注)急性放射線症候群の前駆症状に対し医学的な介入が必要となる基準である2 Gy以上の放射線照射血液サンプルについて検証する。

【進捗1 染色体の検出・分類と線量効果関係】

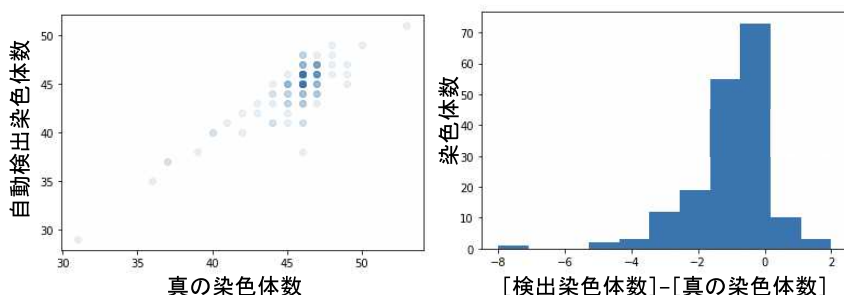


図4. 実際の染色体数とAI自動検出された染色体数(左)および自動検出された染色体数と実際の染色体数の差の分布(右)

- 染色体検出力98%(人がパラメータ設定をする機械学習法では検出力40～50%)
- 線量推定の検証では42～50染色体を含む画像を用いることとした。

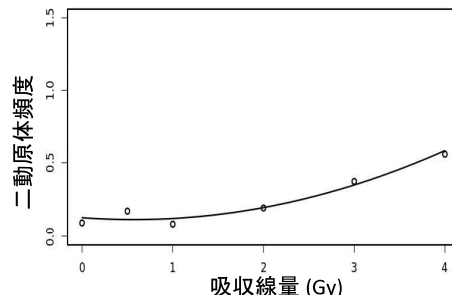


図5. 線量とAI自動検出による二動原体頻度

→ 線量効果関係が認められた。

参考:

感度 $Recall = \frac{True\ positives}{True\ positives + False\ negatives}$

精度 $Precision = \frac{True\ positives}{True\ positives + False\ positives}$

特異度 $Specificity = \frac{True\ negatives}{False\ positives + True\ negatives}$

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	
① normal	7754	17	5	0	0	0	0	0	0	0	132
② dicentric	36	36	0	0	0	0	0	0	0	0	5
③ fragment	6	0	94	0	0	0	0	0	0	0	37
④ centric ring	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
⑤ broken chromosome	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	6
⑥ tricentric	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
⑦ iso-chromatid break	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
⑧ other abnormalities	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
⑨ normal (partially broken)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
⑩ not detected	35	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0

図6. テスト用データセットを用いたモデルの精度検証結果

→ 1月以降の開発でいっそうの精度向上を試みる。具体策としては、現解析で用いた標本では染色体正常細胞が多く含まれているという偏りがあるので、AI画像分析で使われている諸法などで染色体異常の画像数を増やす。

【進捗2 線量効果曲線試作試験】

表2. 二動原体染色体を指標としたAI画像判定によるテスト用画像のトリアージ線量推定試験結果

二動原体 (標準法) (注1)

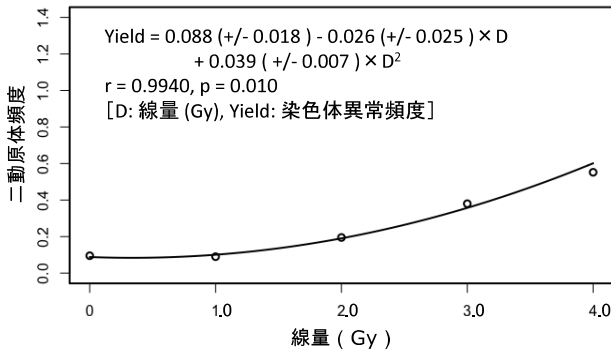


図7. AI自動画像判定により作成された線量効果曲線

→ 臨床判断で用いられる95%信頼限界上限値で、**2 Gyのトリアージ判定** (注2, 3) **が可能であることがわかった。**

* ベイズ法でも同様の結果を得た(データ省略)。

→ **十分な細胞数をとれば精度の高い線量推定も可能であると期待できる。**また、解析速度からいって、トリアージ用でも細胞数は100個以上としても良いといえる。

Dose (Gy)	Set	Dicentric Cells	Estimated Dose (Gy)	95% LCL	95% UCL	
0	1	6	61	0.95	0.34	2.17
0	2	1	57	0.00	0.34	0.94
0	3	10	57	1.88	0.43	2.83
0	total (1-3)	17	175	0.92	0.34	1.70
0	4	126	1319	0.89	0.34	1.22
1	1	3	57	0.00	0.34	1.68
1	2	3	59	0.00	0.34	1.63
1	3	5	62	0.08	0.34	1.98
1	total (1-3)	11	178	0.00	0.34	1.17
1	4	183	2088	0.65	0.34	1.01
2	1	10	57	1.88	0.43	2.82
2	2	12	60	2.07	1.05	2.96
2	3	15	54	2.58	1.70	3.45
2	total (1-3)	37	171	2.19	1.67	2.69
2	4	553	2815	2.05	1.92	2.17
3	1	43	57	4.51	3.80	5.25
3	2	18	63	2.62	1.83	3.42
3	3	24	59	3.23	2.48	4.01
3	total (1-3)	85	179	3.52	3.10	3.95
3	4	770	2055	3.08	2.96	3.21
4	1	29	54	3.76	3.01	4.56
4	2	34	61	3.84	3.14	4.58
4	3	41	63	4.17	3.49	4.89
4	total (1-3)	104	178	3.94	3.53	4.36
4	4	576	1033	3.84	3.67	4.01

(注1) 国際標準法では染色体異常の出現がポアソン分布をとるものとして、最尤法を用いる。

(注2) 通常の被ばく事故時トリアージ・レベルの線量評価では、ISO推奨プロトコールに基づき、**目視で50メタフェーズの観察を行う。**

(注3) 深層学習を用いず人がパラメータ設定をする機械学習法では3 Gy以上しか分離できなかった。

11

【進捗2 線量効果曲線試作試験】

表3. 染色体断片を指標としたAI画像判定によるテスト用画像のトリアージ線量推定試験結果

染色体断片 (標準法)

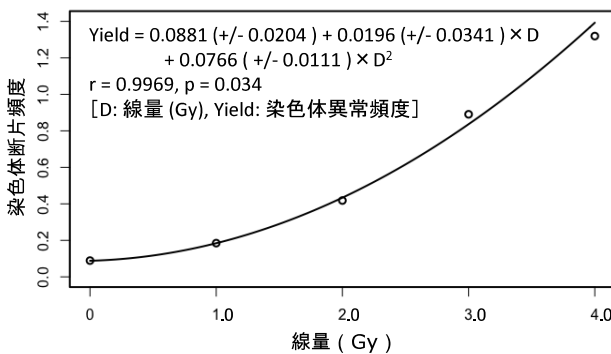


図8. AI自動画像判定により作成された線量効果曲線

→ 本研究で**染色体断片が線量評価の指標になる**ことが見出された。

→ **2 Gyのトリアージ判定が可能**であることが示された。

* ベイズ法でも同様の結果を得た(データ省略)。

→ 二動原体と染色体断片の情報を併用するの**もひとつの方法**となる。

Dose (Gy)	Set	Frg	Cells	Estimated Dose (Gy)	95% LCL	95% UCL
0	1	7	61	0.48	0.00	1.27
0	2	3	57	0.00	0.00	0.81
0	3	4	57	0.00	0.00	0.97
0	total	14	175	0.00	0.00	0.66
1	1	15	57	1.39	0.76	2.00
1	2	6	59	0.31	0.00	1.20
1	3	6	62	0.23	0.00	1.14
1	total	27	178	0.79	0.29	1.19
2	1	20	57	1.73	1.16	2.31
2	2	30	60	2.19	1.68	2.73
2	3	24	54	2.03	1.48	2.61
2	total	74	171	2.00	1.69	2.31
3	1	43	57	2.82	2.32	3.36
3	2	71	63	3.56	3.09	4.05
3	3	50	59	3.02	2.53	3.54
3	total	164	179	3.16	2.88	3.45
4	1	77	54	4.05	3.55	4.58
4	2	78	61	3.82	3.35	4.31
4	3	93	63	4.13	3.67	4.61
4	total	248	178	4.00	3.73	4.28

【進捗3 考察・その他の情報】

■ AIによる画像分析で、トリアージレベルの線量推定が試作段階でも実現した。今後の本格開発により、0.5 Gyと1 Gy、1.5 Gyと2 Gy、といったより細かな判別を高度に効率よく実施することが期待できる。

■ 年度末まで試験セット数を増やすなどしてAIによる二動原体自動分析検証を重ね、この分野での先鞭をつけた成果の論文投稿を予定。今後、細胞数を増し、本フィージビリティ・スタディで得られた従来注目されていなかった情報(染色体断片生成頻度)も加えることにより、更に効率よく線量推定が可能となることもわかった。

■ 動原体が特定できるPNA-FISH画像を用いた教師データを増加することで、単色染色画像からの情報[形態、染色の濃淡、二動原体生成に伴う付加情報(染色体断片など)]により、二動原体判別がより効率化した。将来は単色染色画像の学習モデルのプロトタイプも改善されることが期待できる。

■ 通常のラボの画像解析用PCスペックでも、1検体(1000細胞)につき10分程度で可能。

■ PNA-FISHを利用することは容易であることがわかった。

* コスト:プローブ代1検体につき約4~8円、染色時間30分~1時間(ギムザ染色は15分)。国内の多くの染色体解析ラボ・検査会社で技術は確立されている。

AI を利用した染色体画像判別の性能向上(見込み)

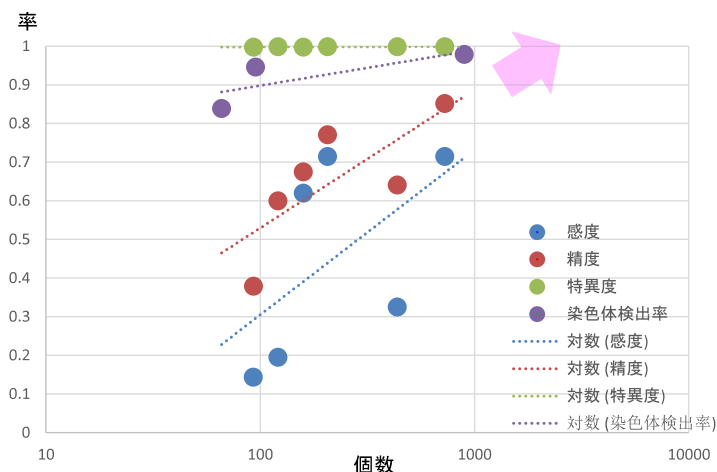


図9. テストごとの染色体検出率および検出された各種染色体異常の個数と正確さとの関係

染色体検査会社のAIによる核型分析正答率~100%(既に実用化) 医用画像研究事例~2000画像

→ 多検体対応で
大きな力となる

13

【進捗4 今後の課題】

- ① 現段階では、正確な教師データが得られ、かつ、実際の運用上(コスト、技術をもつラボ数など)支障が無いことがわかったPNA-FISH画像を用いたAI自動画像判定技術開発を進めていくこととする。[AIの特性から、将来、教師データや訓練回数の増加によって単色染色(PNA-FISH画像のもつ対比染色像)のみでも判定が可能となることは期待できる。]
- ② 教師データの分類種間バランスを良くし、判別精度をさらに上げ、1 Gy判定やより細かな線量の区別を可能にする。
- ③ テストセット数を増やし、検証をより強く行う。
- ④ 画像品質差対策として、現段階では1000~3000枚の画像をAIにより自動選別(分析候補画像提示)する手法を提案するが、将来的には、AI自動分析ベーシック・モデルを開発し、ラボごとに一定枚数の画像を借り受けて調整する機能を持たせる方向で進める。モデルの向上・配布については量研機構で一括管理する方向で進める。
- ⑤ 現段階では線量推定計算で試用した標準法(最尤法)もベイズ法も差違が無いが、今後学習モデルの教師データ量ビッグ・データ化するとベイズ法の有用性が見えてくる可能性があるため、両方法に注視していく。
- ⑥ 以上の方向性を原案に、また平成31年度に確立した多検体全血培養法・長期保存細胞培養法等を交えて、運用ストラテジーを検討する。

【追記】 「進捗4 今後の課題」のうち、③および⑥について実施した。

③ 線量推定試験の追加試験

表4. 二動原体頻度による線量推定結果 (2.0 Gy画像追加)

線量 (Gy)	セット番号	二動原体 (個)	メタフェーズ (個)	推定線量 (Gy)	95% LCL (Gy)	95% UCL (Gy)
2.0	4	13	58	2.24	1.30	3.12
2.0	5	13	55	2.33	1.38	3.22
2.0	6	8	48	1.80	0.34	2.85
2.0	7	10	64	1.71	0.34	2.63
2.0	8	16	58	2.57	1.72	3.41
2.0	9	15	57	2.49	1.62	3.35
2.0	10	18	55	2.85	2.03	3.69
2.0	11	14	57	2.38	1.48	3.25
2.0	12	10	59	1.83	0.34	2.77
2.0	13	9	54	1.80	0.34	2.79
2.0	14	9	61	1.62	0.34	2.59
2.0	15	12	60	2.07	1.05	2.96
2.0	16	9	59	1.67	0.34	2.65
2.0	セット4~6合算	34	161	2.15	1.61	2.68
2.0	セット7~9合算	41	179	2.28	1.78	2.76
2.0	セット10~12合算	42	171	2.38	1.89	2.87
2.0	セット13~15合算	30	175	1.84	1.25	2.34
2.0	セット1~16合算	193	916	2.15	1.93	2.37

(注) セット1~3については表2を参照。なお、真の値が2.0 Gy未満の検体の場合、線量の過大評価は被ばく患者候補の見逃しにはならないので、追加試験は進めていない。

■ 二動原体染色体を指標とした場合、95%信頼限界上限値はすべてで2.0 Gyを超え、見逃しは起こらなかった。試みに、3セット毎の合算データ(細胞数150以上)、およびセット1~16すべての合算データ(細胞数1000弱)での線量推定を行ったところ、精度が上がり、信頼限界の幅が減少する傾向がみられた。

■ AIの場合、1000細胞で10分程度を要するので、解析枚数を増やすことによる検査時間の増大影響は少なく、推定精度の向上が見込まれる。熟練者目視観察では1検体当たり500から1000個程度のメタフェーズを観察することで95%信頼限界上限値が± 0.15 Gyまでの線量計測が可能であることが知られている。AIの場合、1検体当たり染色体標本1枚を検査するという目安で画像取得する方法もあり得る。さらに、今後の研究では、細胞数をあらかじめ限定するのでは無く、熟練専門家の目視判定によるトリアージの目標細胞数50個の場合と同等の、95%信頼限界上限値が± 0.5 Gyとなるレベルの細胞数までAIで判定させるといったような方法も考慮に入れる必要がある。

15

【追記】

③ 線量推定試験の追加試験(つづき)

表5. 染色体断片による線量推定結果 (2.0 Gy画像追加)

線量 (Gy)	セット番号	染色体断片 (個)	メタフェーズ (個)	推定線量 (Gy)	95% LCL (Gy)	95% UCL (Gy)
2.0	4	22	58	1.83	1.28	2.40
2.0	5	31	55	2.37	1.84	2.92
2.0	6	21	48	2.01	1.42	2.63
2.0	7	30	64	2.11	1.60	2.63
2.0	8	26	58	2.04	1.51	2.60
2.0	9	30	57	2.27	1.74	2.82
2.0	10	37	55	2.64	2.12	3.18
2.0	11	21	57	1.79	1.23	2.37
2.0	12	29	59	2.17	1.65	2.72
2.0	13	32	54	2.44	1.91	3.00
2.0	14	25	61	1.93	1.40	2.47
2.0	15	30	60	2.19	1.68	2.73
2.0	16	34	59	2.4	1.89	2.94
2.0	セット4~6合算	74	161	2.08	1.76	2.40
2.0	セット7~9合算	86	179	2.14	1.84	2.44
2.0	セット10~12合算	87	171	2.22	1.92	2.53
2.0	セット13~15合算	87	175	2.19	1.89	2.49
2.0	セット1~16合算	451	916	2.17	2.04	2.30

(注) セット1~3については表3を参照。

■ 染色体断片を指標とした場合も、95%信頼限界上限値はすべてで2.0 Gyを超え、見逃しは起こらなかった。3セット毎の合算データ(細胞数150以上)、およびセット1~16すべての合算データ(細胞数1000弱)での線量推定を行ったところ、精度が上がり、信頼限界の幅が減少する傾向がみられた。

■ 染色体異常の分類性能、線量効果曲線試作、線量推定試験において、染色体断片を指標とした場合、二動原体染色体よりも成績が良い傾向にある。これまで染色体線量評価では染色体断片は用いられることが無かったが、本研究により、その有用性が見出された。今後の研究開発では、AIを用いた線量推定の性能を上げるために、二動原体染色体との併用を検討していく。

【追記2】「進捗4 今後の課題」の⑥(運用戦略)について検討を行った。

■ 原子力災害等被ばく事故における緊急時対応の戦略

実際の放射線被ばく事故における運用には、AI自動判定だけ多検体対応ができて迅速化しても十分とは言えない。事故の様々な場合を想定し、染色体線量評価のための血液検体処理から画像判定・線量評価までの戦略を準備しておく必要がある。

1) 血液検体の保存・培養

本研究では、長期凍結した末梢血リンパ球の培養法を確立した [Y. Suto et al., 2020]。これにより、例えば、職業上被ばくが想定される緊急作業員やファースト・レスポンドー、宇宙飛行士などについて事前に採血し分離したリンパ球を凍結保存しておけば、被ばく事故が起こった時に、この凍結保存細胞を用いてバックグラウンド値(被ばく事故前の染色体異常頻度)の調査を行えるので、より精度の高い線量評価を行うことができる。

また、長期凍結保存の完全培地が利用可能であることを示す研究を行った(投稿論文準備中)。完全培地を分注して凍結保存し備えることで、大規模放射線被ばく事故が起こったとき、検体間のクロスコンタミネーションを起こさず迅速に多検体の培養を行うことが可能である。

17

【追記2】

■ 原子力災害等被ばく事故における緊急時対応の戦略 (つづき)

2) 細胞培養から染色体画像取得まで

万一の大規模放射線事故・災害に備えて、染色体分析が行える専門要員の拡充は不可欠である。本研究事業における情報収集から、高度被ばく医療の基幹5センターだけでなく、国内の臨床染色体検査会社も担当可能になっていることが明らかになった。日本人類遺伝学会臨床細胞遺伝学認定士制度(<http://cytogen.jp>)も活用し、放射線被ばく事故の状況・規模によって検査支援要請ができるようにしておくことも重要である。

3) 染色体画像データの取り扱いについて

現在、染色体画像は医用画像の扱いとなっており、個人情報の保護は必須である。このため、染色体画像データの電子的授受には制約が大きい。今後、画像データの安全管理・安全共有のためのシステム作りも必要である。

【研究評価委員会】

評価： A

総合コメント： AIを利用した染色体自動画像判定が短時間で実施できることを示すなど、重要な結果が得られており、研究は高く評価される。深層学習用の教師データを複数の専門家で検証するなど、次のステップに期待する。

【対応】

ラボ間の技術差や患者の状態・溶血などによって生じる多様な画質に対応できるようにする必要がある。また、実際的な標準化、利用者の確保・拡大には、信頼を得ることが重要である。それらのために、今後、以下のことを検討し進める。

- 1) 染色体線量評価の専門家の協力を得て、画像データの貸借または共有、AI自動染色体判別モデルの評価・検証を行い、信頼性を高める。
- 2) 国際誌や国際学会での成果発表、および国際標準化機構において標準化課題提案を目指す。これらにより、国内だけでなく各国の生物学的線量評価の主要な担当機関の専門家による評価・検証を得ることができる。

19

【平成31年度 成果公表】

■ 論文発表

1. Y. Suto, et al., Cytogenetic Examination of Human Peripheral Blood Lymphocytes Cryopreserved after Gamma Irradiation: A Pilot Study. *Cytologia*, 85: 71-77, 2020.
2. 弓至. 深層学習を用いた画像認識AIによる生物学的線量推定. 北海道大学大学院情報科学研究院 修士論文(2020年3月).

■ 学会発表

1. Y. Suto, Radiation cytogenetics in Japan: current state and perspectives. ICRR 2019, シンポジウム(マンチェスター、8月25日)[招待]
2. 弓至, et al., Chromosome dose evaluation by image recognition AI using deep learning. 日本進化学会第21回大会(札幌、8月7日～10日)
3. 弓至, et al., Abnormal chromosome detection by image recognition AI using deep learning. 日本バイオインフォマティクス学会2019年年会・第8回生命医薬情報学連合大会(東京、9月9日～11日)
4. Y. Suto, 演題未定. The 66th Annual Radiation Research Society Meeting (ハワイ、2020年10月18～21日を予定) [招待]

■ 取材(記事)

1. 共同通信社 臨界事故20年特集「被ばく線量 AIが推定」(年9月6日、西日本新聞ほかで掲載)

[参考](関連の業績)

1. 染色体画像等の図説提供 (Oxford社英語版1件、Springer社ドイツ語版1件、BBCドキュメンタリー英語版1件)
2. 国際標準化機構 プロトコール (Y. Suto, 策定主要メンバー) [International Organization for Standardization (ISO)/TC85/SC2: ISO 20046 (FISH分析)、ISO 19238(二動原体染色体分析)、ISO 21243(大規模事故における二動原体染色体分析)の出版・改訂]

【平成31年度 その他の研究会合・学会参加・情報収集】

- 1) 研究会合 3回 (個別会合1回)
- 2) 画像検討会(教師データ作成) 8回
- 3) 染色体線量評価・人工知能研究に関連した学会・会議
 - * 国際会議: ISO, Working Group 18(生物線量評価)(マンチェスター、8月)
 - ISO, 本会議およびWorking Group 25(放射線事故時の住民・作業員線量モニタリング)(岡山、11月)
 - * 国際会議: ARADOS 2019(北京、11月)(アジア線量評価ネットワーク会議。本研究のテストセットを用いて目視判定による Intercomparison Studyを主催。レビュー論文投稿予定)
 - * PHE訪問・講演実施(ジドコット、8月)
 - * 国内学会: 日本メディカルAI学会(東京、1月31日～2月1日参加)
 - * 第3回AI・人工知能EXPO(東京、4月)、AI関連企業ヒアリング、染色体検査会社ヒアリング

【自己評価】

1. 研究代表者(主任研究者)による自己評価

評価の視点	自己評価	コメント
評価時点までの研究の実施が研究計画に沿って行われているか	計画を上回る	AIによる画像判定支援の有効性を明らかにするために、0～5 Gyに相当する放射線照射血液から作成した染色体画像(約15,000枚)を用い、AI導入試験を実施した。深層学習により、現試作段階の学習モデルでも、これまで検査者の目視観察により、1検体(1,000細胞)当たり3日以上要していた画像判定が、AI自動画像判定10分間で良好な精度での評価が可能となった。さらに、急性放射線症候群の前駆症状に対し医学的な介入が必要となる基準である2 Gy以上の放射線照射血液サンプルについて、患者の見逃しなく判別が可能となった。本成果は原子力災害をはじめとする多数の被ばく者を生じる放射線事故に対し、トリアージに必要な判断材料として適用できる可能性を示唆するものである。AIにより画像判定の標準化が達成されることで、ラボや国の別なく協働で線量評価を行うことができるようになる。今後、本格開発研究で教師データの染色体画像を増やす等により、1 Gy以下の放射線照射血液の判別についても精度向上が期待される。
今年度の進捗や達成度を踏まえて、次年度の研究計画に変更が必要か	今年度で終了	平成31年度末に本研究(フィージビリティ・スタディ)は終了する。 本研究ではAIによる画像判定支援の有効性を示す重要な結果が得られており、今後、画像判定の標準化に向け発展させる。

2. 分担研究者による自己評価 (分担研究者 無し)

21

【放射線規制及び放射線防護分野への活用】

本研究事業(フィージビリティ・スタディ)で、以下の成果を得ることができた。

1) 基盤技術の構築

- * AIの一種である深層学習を導入した学習モデルの試作。
- * AIに適した標本作製法、画像作成法の確立。
- * 実際のAI技術の運用で必要となる多検体対応の細胞培養法の確立。

2) AI導入の有効性・実現可能性

- * 試作モデルで、二動原体染色体を指標とした線量推定試験において、約50個のメタフェーズ画像データから、2 Gy未満と2 Gy以上の被ばくが判別できた。
- * 新たに染色体断片も線量評価の良好な指標となることを見出した。二動原体染色体と併用することで、より正確な線量推定ができる可能性が高い。

3) 線量推定作業の高度の効率化

- ・1検体当たりの画像判定(1000メタフェーズ)に要する時間が実質30時間以上(目視)から10分(AI)へと短縮化できることがわかった。

以上の成果に基づいて研究開発することで、染色体画像判別の標準化・効率化が達成される。特に原子力災害をはじめとする多数の被ばく者を生じる放射線事故において、被ばく医療診断の支援(トリアージに有用な推定線量情報の提供)に大きく貢献できるものと期待できる。

【放射線規制及び放射線防護分野への活用】（補足）

AI 自動染色体判定の応用(発展)

本研究事業は原子力災害における緊急時線量評価支援が主要な目的であり、二動原体染色体分析についてAI導入を試験した。本研究におけるプレ試験では、3-color FISH(染色体ペインティング)による交換型染色体異常の検出においてもAIが威力を発揮することが示唆された。

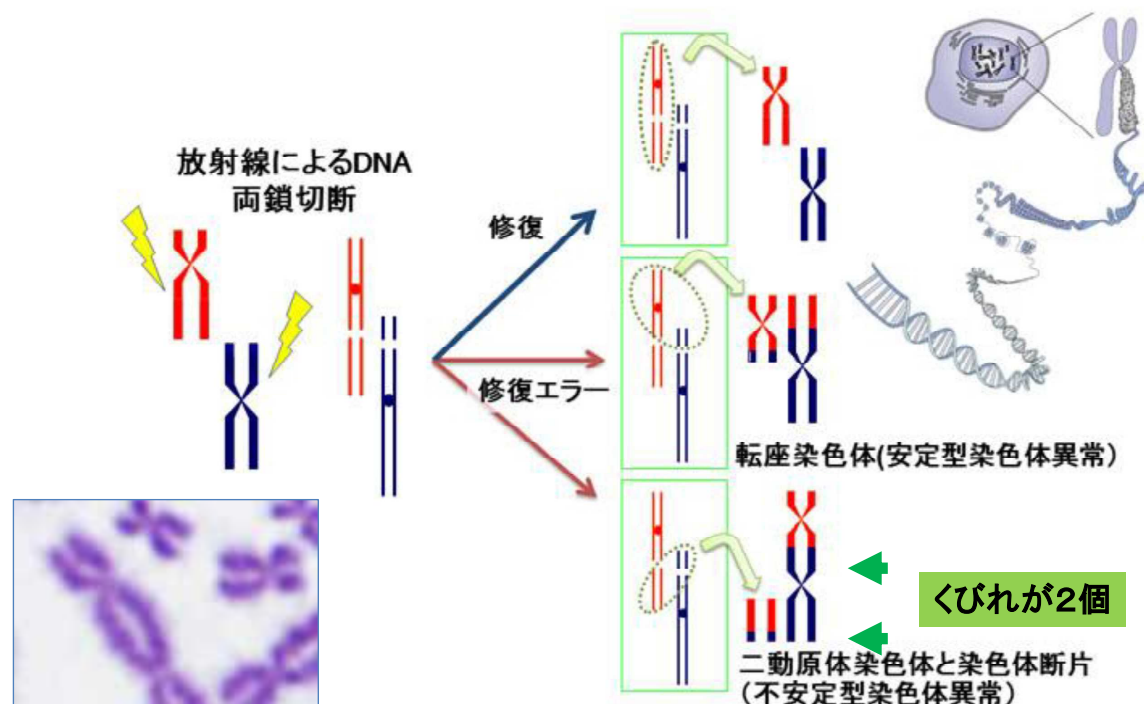
染色体ペインティング法は費用・時間がPNA-FISHより大きいため、緊急時対応ではPNA-FISH法に劣るが、染色体異常の検出効率は同様に高い。染色体番号も蛍光標識も多様な組み合わせが可能で、以下のことに有用な手法であるため、将来必要に応じてAIによる画像判別の応用を検討すると良い。

- 1) 1ヶ月～30年以上遡る過去の被ばくの線量評価も、現在になって採取する血液試料や長期凍結保存した染色体標本から可能である。また、長期間被ばくする作業従事者の累積線量の評価も可能である。
- 2) 一般的な臨床染色体検査だけでなく、放射線被ばくが原因で将来起こり得る疾患で特徴的な染色体異常を伴うものがあれば、早期発見スクリーニングや治療効果観察に役立つ可能性がある。

23

参考資料1

放射線被ばくによる染色体異常の形成



二動原体染色体像

[QST e-learning 教材を改変]

■ エルピクセル株式会社 (<https://lpixel.net/>)

→ 東京大学発。ライフサイエンスと画像解析を背景に独自の技術を研究・開発。オリンパス、富士フィルム、キャノンメディカル等から出資を受け複数の医療、医薬用システム開発

* 研究事例 (一部抜粋。括弧内は共同研究先)

- ・Deep Learningを用いた脳動脈瘤検出アルゴリズム(大阪市立大学)
- ・生物画像自動分類ソフトウェア CARTA(東京理科大学、国立がん研究センター)

* 国家プロジェクトへの参加

- ・経済産業省 / 戦略的基盤技術高度化支援事業:
生体組織の立体構造情報と人工知能を活用する病理診断支援システム
- ・科学技術推進機構 / 戦略的創造研究推進事業(CREST):
栽培植物倍数体のマルチオミクス技術開発プロジェクト
- ・厚生労働省 / 革新的がん医療実用化研究事業:
人工知能技術を用いた大腸内視鏡検査における病変検出・診断支援技術の開発

* 特許

- ・第4688954号 能動学習型の生物医学画像自動分類ソフトウェアCARTA
- ・第4696278号 領域分割画像生成方法、領域分割画像生成装置及びコンピュータプログラム
- ・第6329651号 画像処理装置及び画像処理方法

* 論文

- ・2019年 IMACEL: A cloud-based bioimage analysis platform for morphological analysis and image classification. PLOS ONE DOI:10.1371/journal.pone.0212619 ほか
- ・2018年 Deep Learning for MR Angiography: Automated Detection of Cerebral Aneurysms. Radiology DOI: 10.1148/radiol.2018180901 ほか
(2017～13年分省略)

令和元年度放射線対策委託費
(放射線安全規制研究戦略的推進事業費)

放射線規制関係法令の運用に係る共通課題の調査研究
(重点テーマ)

円滑な規制運用のための 水晶体の放射線防護に係る ガイドラインの作成

主任研究者 横山 須美(藤田医科大学)

分担研究者 大野 和子(京都医療科学大学)

1

課題名 円滑な規制運用のための水晶体の放射線防護に係るガイドラインの作成

研究期間: 令和元年度(1年間)

背景・目的 わが国では、眼の水晶体の等価線量限度に関する規制見直しが進展している。当該研究事業での研究成果のほか、国内外の知見を踏まえ、事業者、関連学会との連携・協力のもと、水晶体の線量限度に関する規制の円滑な運用のためのガイドライン作成に有用となる課題を整理する。

実施状況

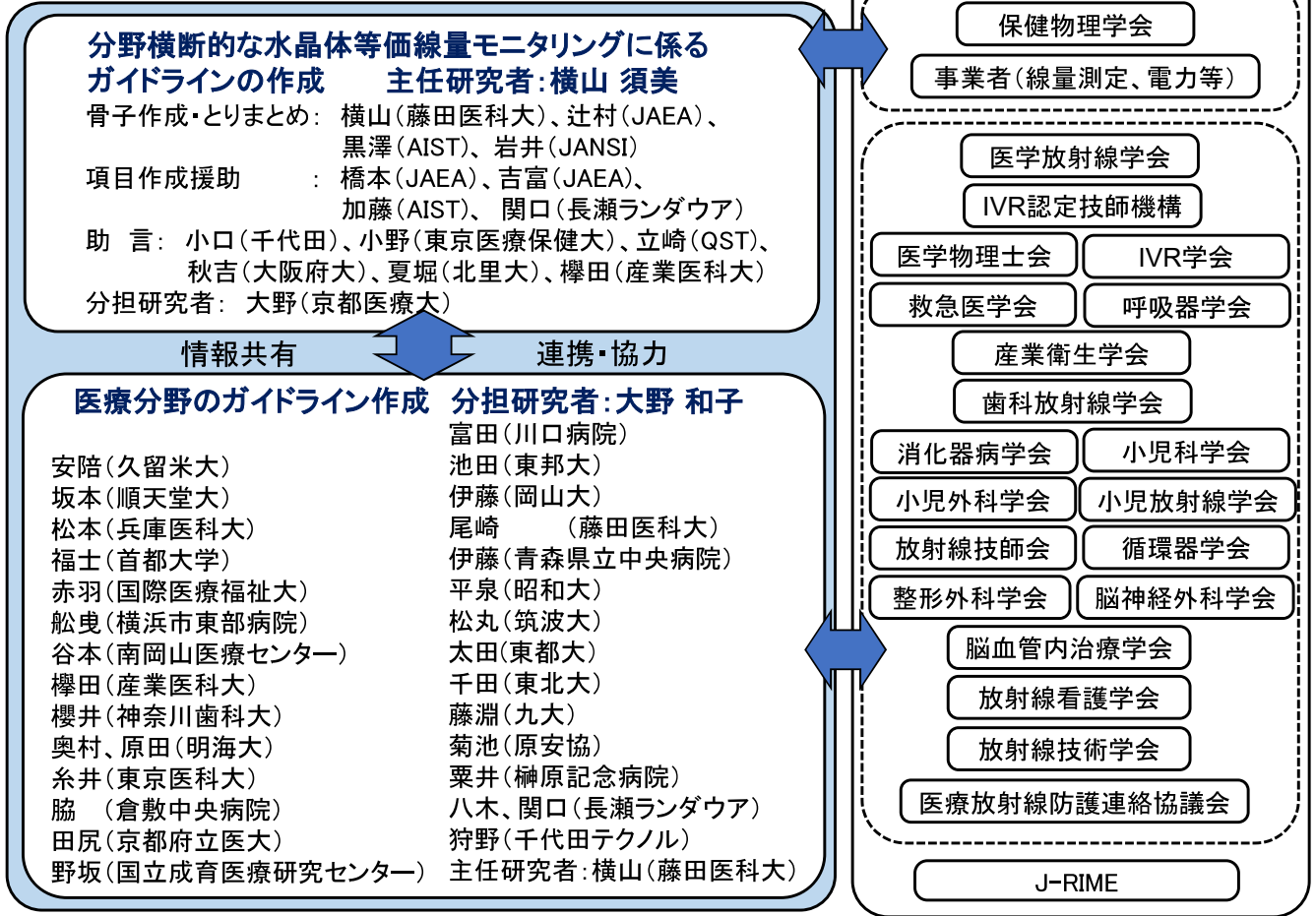
分野横断的な水晶体モニタリングガイドライン作成(横山須美): 日本保健物理学会や事業者等と協力・連携のもと、ロードマップに従い、第1四半期にガイドラインに必要な項目(適用範囲、モニタリングの判断基準、考え方に関する解説、具体例等)を選定、併せて具体的な記載内容等について検討を実施した。第2四半期から第3四半期には、関連学会等の専門家の意見を聴取するとともに、解説・例題を作成、第4四半期には最終取りまとめを行った。

医療分野のガイドライン作成(大野和子): 20の学協会と連携・協力して、第1四半期には水晶体の被ばく管理を中心に、放射線診療従事者の放射線管理に係るガイドライン作成のための骨子案、項目、体裁等を議論し、課題を整理した。第3四半期に各学会から意見を聴取し、これらの意見の反映を実施した。第4四半期には、最終取りまとめを行い、フォーラム等で本研究内容を周知した。

全体: 両課題に関して講演(6月)、シンポジウム(7月)、フォーラム(2月)を開催するとともに、関連でも関連講演や発表を行い、考え方を紹介、意見を求めた。また、国際動向を把握するため、7月にOECD/NEA/CRPPH/EGDLE(水晶体専門家会合)に参加し、わが国の現状を報告するとともに、各国の水晶体の線量限度に関する規制動向の把握に努めた。

期待される成果 本研究でとりまとめた具体的な水晶体の線量モニタリング方法や放射線診療従事者における放射線管理方法をもとに関連学会がガイドラインとしてとりまとめ、ホームページや冊子等で広く周知することで、新しい水晶体の線量限度に関する規制が施行された際に、事業者は専門家間でコンセンサスが得られた方法を採用し、法令遵守及び放射線防護の最適化を図ることができる。

研究体制



ロードマップ

	2019年			
	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期
分野横断的水晶体モニタリングガイドライン作成(横山他)	標準化項目選定 骨子案作成	解説記事 Q&A項目 検討・作成	意見公募	完成 意見反映・追加検討
医療分野のガイドライン作成(大野他)	項目設定・骨子作成	作画・レイアウト 意見聴取	意見反映	学会承認 学会内等周知
総とりまとめ	★ 講演(6月)・シンポジウム(7月) (意見聴取)	★ 情報収集	保物学会・標準化委員会 (意見聴取)	★ 報告書 取りまとめ 提出

分野横断的な水晶体等価線量 モニタリングに係るガイドラインの作成

主任研究者 横山須美(藤田医科大)

5

今年度の研究概要：研究計画・方法

水晶体の線量モニタリングのガイドライン作成のための課題整理・検討のための会合を開催する。分担研究者・研究協力者等の協力を得て、以下のことを検討する。

- 水晶体等価線量モニタリングの考え方
- 基準(めやす)の解説
考え方や科学的根拠、国内外の動向など。
- Q&A形式で具体的な例題
類似のケースの判断や対応に利用できるよう、実務上の具体例を紹介。

各進捗段階においてシンポジウム等を開催し、関連学協会員等から意見を聴取し、反映。海外動向についても注視。

主に、日本保健物理学会と連携・協力。

今年度の研究概要：具体的な検討内容

- 水晶体の線量モニタリングを実施するにあたり、以下の点について考え方を整理する。
 - モニタリングに使用する実用量
放射線の種類や線量レベルに応じて、1cm線量当量、3mm線量当量、70 μ m線量当量をどのように選択・決定すればよいか。
 - 線量計を着用する部位
体幹部基本部位、体幹部において最も多く放射線を受ける部位、眼の近傍での測定をどのような条件で選択・決定すればよいか。
 - わが国の現状
従事者の多くは、1 cmまたは70 μ m線量当量での測定で対応可能※。3mm線量当量の測定は、眼の近傍に防護具を着用する場合または高線量の場合だけであり、限定的。
※ 40keV以上の光子による被ばくが支配的であり、かつ線量限度を大きく下回る場合が多い。

7

今年度の研究成果 1 〈概要〉

- ガイドラインには、適用範囲及び線量モニタリングの考え方を提示し、「解説」、「例題」を付記した。
- 「解説」では、意見具申、ICRP、IAEA、各国のガイドライン、現行法令に基づく「被ばく線量の測定・評価マニュアル」等を参照しつつ、水晶体の線量モニタリングの目的、適用範囲、関連法規、用語、水晶体モニタリングにおける算定方法等を解説。
- 「例題」として26項目を作成。
 - 不均等被ばくの判断方法
 - 眼の近傍で測定することを開始するための管理基準 ※
 - 最適化での線量モニタリングの結果の使用
 - 使用できる個人線量計
 - 海外のガイドライン等の例
 - 各分野被ばくの現状 等

※ 管理基準(線量めやす)は、考え方のみを示し、解説や例題をもとに、状況に応じて、事業者が決定することと整理。

シンポジウム等において、各分野の専門家等から意見聴取、協力を得てとりまとめ。

8

今年度の研究成果 2〈ガイドライン概要〉

眼の水晶体の線量モニタリングのガイドライン

1. 適用の範囲	(5) 眼の水晶体の等価線量を算定するための測定部位
2. 線量モニタリングの考え方	1) 個人モニタリングに係る測定部位の考え方
2.1 眼の水晶体の等価線量をモニタリングする部位	2) 国内法令での不均等被ばく管理における線量の測定
2.2 眼の水晶体の等価線量のモニタリングに使用する実用量	3) 体幹部不均等被ばく状況の判断
	4) 眼の水晶体の線量モニタリングとしての測定部位
	(6) 眼の水晶体の等価線量の算定に使用する実用量
	1) 光子
	2) 電子
	3) 中性子
	(7) 眼の水晶体の等価線量が管理基準に近いか超えるおそれがあることの判断方法
解説 眼の水晶体の線量モニタリング	参考文献
1. 目的	添付資料1 眼の水晶体の等価線量限度の引き下げに係る国内並びに国際機関の動向
2. 適用範囲	添付資料2 国際原子力機関(IAEA)での眼の水晶体の等価線量に係る線量モニタリングの考え方
3. 関連法規等	添付資料3 従来の眼の水晶体の等価線量に係る線量モニタリング
(1) 関係法令、規定類等	
(2) 任意規格	
(3) その他	
4. 用語	
5. 眼の水晶体の線量モニタリングにおける算定の方法	例題 眼の水晶体の線量モニタリング
(1) 基本的な考え方	
(2) 適用する放射線の種類	
(3) 眼の近傍で直接測定することが望ましい線量レベル(管理基準)	
(4) 眼の水晶体の等価線量の記録レベル	

9

今年度の研究成果 3〈記載例 1〉

1. 適用の範囲

このガイドラインは、光子、電子（700 keV 以上）、中性子による計画被ばく状況における放射線業務従事者の眼の水晶体の等価線量のモニタリングに適用する。

2. 線量モニタリングの考え方

事業所の線量管理に責任を有する者（事業者、放射線取扱主任者等）は、眼の水晶体の等価線量限度の遵守及び防護の最適化を実施するために、以下に示す考え方に従い、眼の水晶体の等価線量をモニタリングする部位及びモニタリングに使用する実用量を決定する（図1参照）。

また、眼の近傍で線量を測定することを開始すべきかを判断する線量レベル（管理基準）及び線量の記録を開始するレベル（記録レベル）は、作業環境に応じて設定する。

2.1 眼の水晶体の等価線量をモニタリングする部位

(1) 体幹部均等被ばくの場合

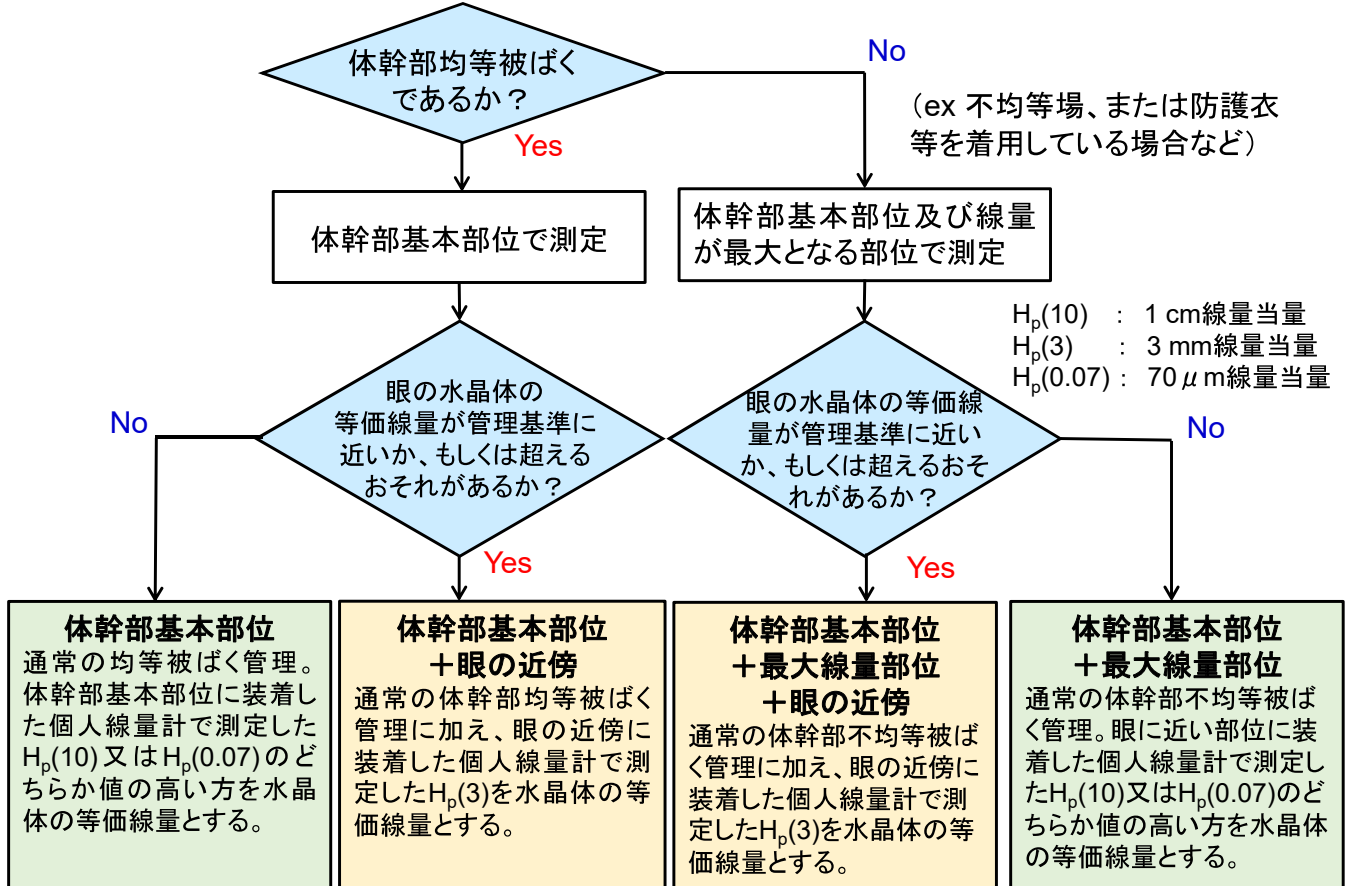
- ① 眼の水晶体の等価線量が、管理基準に近づく又は超えるおそれのない場合

体幹部基本部位^{注1)}に装着した個人線量計で眼の水晶体の等価線量を算定する。

- ② 眼の水晶体の等価線量が、管理基準に近づく又は超えるおそれのある場合

体幹部基本部位での測定に追加して、眼の近傍に装着した個人線量計で眼の水晶体の等価線量を算定する。

眼の水晶体の等価線量の算定方法を決定するためのフロー図



11

今年度の研究成果 4 〈例題の記載例 1〉

【例題 1】

体幹部不均等被ばくはどのように判断すればよいのでしょうか？また、計画被ばく状況で年間の累積線量が極めて低い場合においては、体幹部均等・不均等被ばく状況の判断をしないで、体幹部基本部位に装着した個人線量計で測定した結果のみで眼の水晶体の等価線量を算定できないのでしょうか？

[関連箇所：解説第5章(5)節2)、3)、4)項並びに添付資料2]

【回答 1】

体幹部不均等被ばく管理のため体幹部に複数の個人線量計を装着する必要があるかどうかは、不均等の程度と線量当量の大きさの両方によって変わると考えられます。

まず、一つ目の「不均等の程度」についてですが、これを、身体（ここでは体幹部）上の異なる位置で測定された線量の相違の程度とし、それら測定値間に有意な違いがあると言えるかどうかを不均等か否かと等価であると解釈することは、その最も明解な定義と言えます。ICRP Publ.75^{A1.1)} (及び ICRP Publ.35^{A1.2)} では、個人線量計による測定への要求性能として、ファクター1.5~2の不確かさが容認されており、したがって、その容認範囲を超える測定値間の相違は、その者に不均等な放射線被ばくをもたらす明らかな別の要因（例えば、それらの測定位置間における線量（率）勾配、など）が存在することを意味します。こうした場合は、体幹部基本部位に装着する個人線量計だけではなく、別の適切な位置に個人線量計を追加することが必要になります。ファクター1.5~2を超える線量の相違をもたらす要因には、身体の一部を覆う防護衣の使用や、作業場における線量（率）勾配があげられます。前者については、その使用の有無が、そのまま不均等被ばくをもたらすか否かの判断の参考にすることができます。後者については、作業前の線量率サーベイや過去の経験等から判断することができます。過去に経験したことの無い作業等で、不均等被ばくに該当するかどうかの予測が難しい場合は、その作業の初期段階で実際に複数の個人線量計を使用するなどして確認することも一つの方法です。

12

今年度の研究成果 5 〈例題の記載例 2〉

【例題 3】

眼の近傍で線量を測定することが必要となるかを判断する線量レベル（管理基準）は、事業所の線量管理に責任を有する者が作業環境に応じて設定するとありますが、どのような数値を採用すれば良いのでしょうか？

〔関連箇所：解説第 5 章（3）節〕

【回答 3】

眼の近傍に個人線量計を装着することによる作業員への負担及び、放射線管理者の個人線量計管理の手間等を考慮の上、眼の近傍に個人線量計を装着するための通常の必要条件として、眼の水晶体の等価線量が 5 年間の年平均の等価線量限度 20 mSv を超える可能性がある場合が考えられます。

もちろん、本ガイドラインは線量管理に責任を持つ者の専門的な指導の下で、必要に応じて上記以外の値でも眼の水晶体の等価線量限度（5 年間で 100 mSv（5 年間の年平均 20 mSv）かついずれの 1 年においても 50 mSv を超えないこと）を遵守できれば、事業者が個々の事業所の状況を考慮して自主的な判断で管理基準を採用して眼の近傍への個人線量計を装着させることを妨げるものではありません。例えば、個人線量計の不確かさ 1.5 を考慮して、使用している個人線量計が年間 13 mSv（ $=20/1.5$ ）を超える可能性がある場合、眼の近傍に水晶体専用の個人線量計を装着するという考え方もあります。また、それぞれの事業所において使用している個人モニタリングの不確かさの実態が把握できているようでしたら、それに合わせて弾力的に決めてよい数値であると考えます。例えば、個人モニタリングの不確かさが 1.2 と評価できるような場合は、管理基準を年 17 mSv（ $=20\text{mSv}/1.2$ ）とするような考えもできます。しかし一方で、作業の種類と必要性によっては防護の最適化を図ってもやむを得ず年間 20 mSv を超える作業員がいる場合、その時点で、眼の水晶体の等価線量の 5 年間管理の対象者として、水晶体の専用の個人線量計を装着するという方法も考えられます。

13

今年度の研究成果 6 〈海外動向調査〉

● OECD/NEA/CRPPH /EGDLE*での情報共有

原子力及び非原子力（医療等）分野の従事者に対して水晶体の等価線量限度を適用するにあたり、得られた教訓（良好事例及び課題）を共有することを目的として実施。

- パイロット調査により、以下の情報を共有した。
 - － 法令取入れへのステークホルダの関与
 - － 各国の被ばく低減への取組み状況
 - － 眼の水晶体の等価線量を算定するために使用する実用量 等
- OECD加盟各国に向けたアンケート調査（実施中）。
- 令和3（2021）年3月末まで活動予定。

各国が抱えている課題は、本研究で検討した内容と類似しており、各国の動向が、本ガイドライン作成に大きな影響を及ぼさないことを確認。

* 経済協力開発機構／原子力機関／放射線防護及び公衆衛生委員会／眼の水晶体の線量限度に関する専門家グループ

医療分野のガイドライン作成 — 水晶体の等価線量限度改訂への対応 —

大野和子(京都医療科学大)

15

今年度の研究概要: 研究計画・方法

放射線診療に関与する多くの診療科の医療スタッフが、水晶体の等価線量限度の引き下げに対応し、放射線を安全に継続して利用することを目的とした診療科横断的なガイドラインを作成する。

(医療スタッフはガイドラインを準法令と考える慣習がある。)

医療スタッフの放射線安全に関するガイドラインは初の試みのため、診療に関与する20の関連学協会の代表者を研究協力者とした。(患者のための放射線防護関係のガイドラインも有さない学会名にアンダーライン)。

医学放射線学会、小児放射線学会、IVR学会、IVR認定技師機構、循環器学会、消化器病学会、呼吸器学会、整形外科学会、救急医学会、脳血管内治療学会、脳神経外科学会、小児外科学会、小児科学会、放射線技術学会、放射線技師会、医学物理士会、歯科放射線学会、放射線看護学会、医療放射線防護連絡協議会、産業衛生学会

基本的な合意事項

各診療科医師が放射線診療を行う我が国の実情に合わせる。
学会員間に基礎知識の差があっても理解できる内容にし、図を多用する。
水晶体の被ばく低減につなげる放射線の安全利用の基本を記載する。
「診療ガイドライン」に準拠した体裁とし推奨度がわかる文章にする。¹⁶

今年度の研究成果 1 〈アンケート調査〉

水晶体の線量管理に関するアンケート調査

目的: ガイドラインに記載する従事者の水晶体等価線量の管理方法の検討資料とする。

対象: 令和元年度医療放射線安全管理講習会の参加者330名

質問内容:

不均等被ばくの状況で防護メガネの内側に専用の線量計を装着する眼の近傍の計測が必要となる水晶体の等価線量の値について

1. 5 mSvを超えた場合
2. 10 mSvを超えた場合
3. 20 mSvを超えた場合
4. その他

放射線安全に関するアンケートのお願い

放射線作業従事者に対する目の水晶体の等価線量限度の改定に向けた準備が、現在各方面で進められています。

現在の線量限度は1年間で150mSvですが、改定後は5年間で100mSv、単年度は最大50mSvまでとなります。実効線量限度と皮膚の等価線量限度は従来通りで変更はありません。

医療関係者や放射線安全管理担当者が新たな規制の下でスムーズに業務を遂行するために、皆様がどのような管理方法をご希望されるかをお伺いし、規制担当の方々と、今後のよりよい管理方法を考える基礎資料を作成したいと思えます。ご記入のほどよろしくお願い申し上げます。

記入後の用紙は受付の専用箱に入れて下さい。よろしく申し上げます。

なお、集計結果は当連絡協議会の2020年2月フォーラムで報告します。

以下の(方法1)と(方法2)を踏まえたうえで、あなたが、望ましいと思う従事者の水晶体の被ばく管理の方法を1つ選んで、番号に○をつけて下さい。

(方法1) 眼の水晶体の等価線量は、現在は頭部用と胸部(腹部)の個人線量計の計測結果を基に算定されています。この値は、防護眼鏡の外側の数値を近似しています

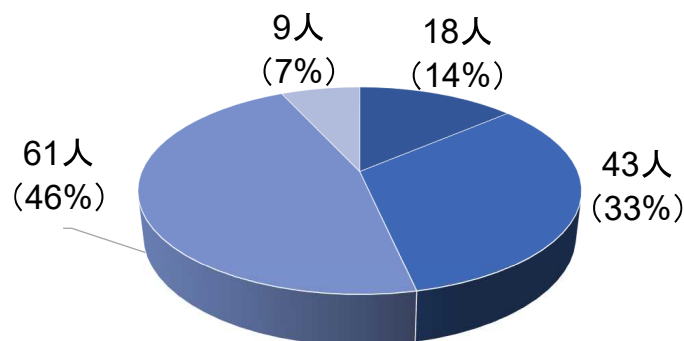
(方法2) 最近では防護眼鏡の内側に装着するタイプの線量計もあり、これを用いれば防護眼鏡の遮へいを考慮した値が得られます。しかし、別途料金がかかること、視野の邪魔になるという欠点があります。

1. 方法1の値が5mSvを超えた時点で方法2の線量計を義務付ける。単年度20mSv以下になるように対応する。
2. 方法1の値が10mSvを超えた時点で方法2の線量計を義務付ける。単年度20mSv以下になるように対応する。
3. 方法1の値が20mSvを超えた時点で方法2の線量計を義務付ける。5年間管理の対象者へ移行し5年間で100mSvを超えないように対応する。
4. その他(具体的に書いてください)

17

今年度の研究成果 2 〈アンケート結果〉

水晶体の線量管理に関するアンケート調査結果



- 5mSvを超えた時点で防護メガネ内に線量計を着けることを義務付ける
- 10mSvを超えた時点で防護メガネ内に線量計を着けることを義務付ける
- 20mSvを超えた時点で防護メガネ内に線量計を着けることを義務付ける
- その他

「その他」には、「IVRの専門医師には初めから着用を義務づけるべき」との意見あり。

アンケート結果等から、眼の近傍への線量計着用基準として20mSvを超えた時点とすることを採用した。

18

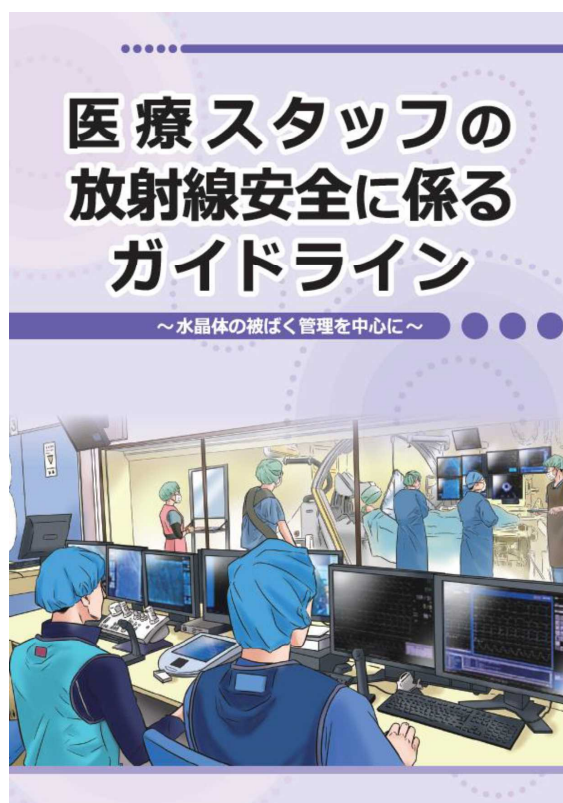
今年度の研究成果 3〈ガイドライン目次〉

医療スタッフの放射線安全に係るガイドラインー水晶体の被ばく管理を中心にー

1. ガイドライン作成の背景と目的
2. 放射線の安全利用
 - 2-1 放射線安全利用の基礎知識
 - 1) 放射線領域で特別に用いる単位
 - 2) 医療放射線の安全衛生管理の原則
 - 3) 被ばく管理の基本と法令
 - 2-2 透視を用いた検査・治療
 - 1) 防護衣の着用効果
 - 2) 防護メガネの効果
 - 3) 遮へい板の具体的利用方法、簡易な防護方法の紹介
 - 4) 立ち位置への配慮
 - 5) 手指の被ばくへの配慮
 - 6) パルスレート
 - 7) エックス線撮影
 - 8) 絞りの活用
 - 9) 拡大透視とデジタルズーム
 - 10) 手技時の線量記録
 - 11) 手技内容の共有
- 12) 患者線量低減と術者の線量低減の関係
- 13) 放射線診療時の検査室内の線量分布
- 14) 水晶体の線量が高くなる恐れがあるときの対応策
- 2-3 エックス線検査室内での患者対応
3. 歯科領域の放射線防護
 - 3-1 歯科における水晶体の放射線防護に係るガイドラインの背景
 - 3-2 歯科領域の放射線検査
 - 1) 同室撮影の放射線防護
 - 2) 室外撮影の放射線防護
4. 参考文献
5. 資料
 - 資料1 水晶体への放射線影響
 - 資料2 放射線による皮膚障害
 - 資料3 妊娠と放射線検査
 - 資料4 患者の皮膚障害に関するガイドラインと対応

1

今年度の研究成果 4〈表紙〉



図を多用し、医療従事者に親しみやすいものとした。

今年度の研究成果 5 〈記載例 1〉

Q1 — 防護衣の着用効果

放射線を用いる手技に従事するスタッフは
防護衣を必ず着用してください。
被ばくを90%以上減らすことができます。

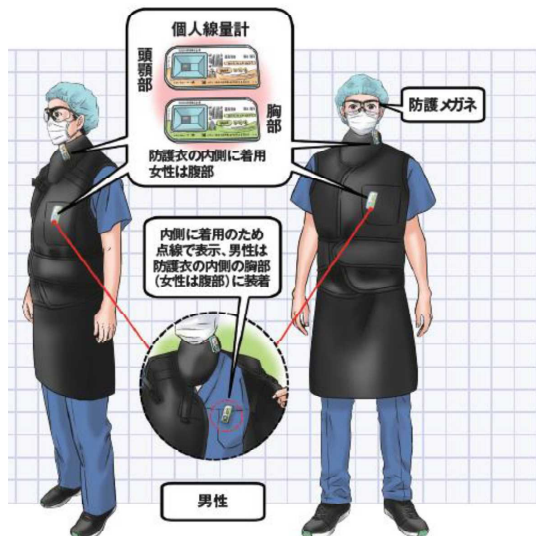
防護衣はIVRやCT透視等の放射線を用いる手技に従事するスタッフが着用します。
放射線を遮る割合は、鉛を基準(鉛当量)として表示され、0.25mmと0.35mmの鉛当量の防護衣があります。一般的に、IVRやCT透視などで使用する放射線の強さでは、0.25mmの防護衣の場合、検査室内に散乱する放射線を90%、0.35mmでは95%遮蔽する能力を持っています。0.25mm鉛当量防護衣に比較し、0.35mm鉛当量防護衣での放射線の遮蔽効果は高くなりますが、防護衣の重量が増すことになります。

腰への負担を軽減するためには、上下セパレートタイプが適していますが、介助等で同じ場所に立つ等、放射線を受ける体の面が患者さんの方に固定される場合は、背面が開いたエプロン様の形状でも十分に防護できます。

各自の診療内容に合わせて防護衣を選択してください。

ネックガードは甲状腺と頭髓の被ばく低減⁷⁾に効果があります。

しかし、頸部に密着させて巻くことによる身体的負担や作業性の低下を伴います。成人の場合は甲状腺は放射線の影響を強く受ける臓器ではありません。各自の被ばく線量に応じて、無理の無い範囲で着用してください。



IVRやCT透視等の手技に従事するスタッフが防護衣を着用する必要があることを明記した。

3

今年度の研究成果 6 〈記載例 2〉

Q2 — 防護メガネの効果

従事者は、IVR患者の検査等どうしても撮影室内に残る
必要があるときは、水晶体の被ばく低減のために防護メガネを
着用してください。

基本的には放射線防護の原則である線源管理として遮へい板を用いてください(Q3参照)。その後防護メガネの着用を検討します。

防護メガネには、一般的な眼鏡と同様の形の物から、顔の両横までレンズが広がる形状やゴーグルタイプの物まで、様々な形のものがあります。レンズの放射線遮へい効果は50%程度あり⁸⁾適切な利用は水晶体の被ばく低減に効果的です。

X線管を2個備える装置やX線管の位置を細かく変える手技では幅広く放射線を防護できるゴーグルタイプの物が効果的です。しかしレンズの遮へい能力が高いほど重い眼鏡になりますから、各自のこれまでの水晶体の被ばく線量を確認し、被ばくが少ない場合は、遮へい能力は低くても軽い物を用いるなど、個別に判断して下さい。

放射線科、整形外科、消化器科、呼吸器科のIVRで、手技の際に透視台の近傍に立つ術者と医療スタッフ、CT検査時に患者の容体管理等の目的で検査室内に残る医師等は、防護メガネを着用してください。循環器科のIVR術者はゴーグルタイプの着用が望まれます。なお、労働安全衛生規則第506条では、従事者は同時に作業する従事者の1対1同数以上を確保し、かつ

放射線科、整形外科、消化器科、呼吸器科のIVRで透視台近傍のスタッフやCT検査室内に残る医師等に対して防護メガネを着用するよう明記した。

4

今年度の研究成果 7〈記載例 3〉

Q3— 遮へい板の具体的な利用方法、簡易な防護方法の紹介

遮へい板を用いると術者の立ち位置における放射線量を大幅に低減することができます。手技に合った物を必ず用いて下さい。

遮へい板の有効な利用方法は用いる装置により異なります。以下に装置毎の代表的な遮へい板の設置方法を紹介します。

①血管系の透視装置に用いる遮へい板



キャビン(移動型遮へい板)

③消化器、呼吸器の内視鏡手技との併用時に用いる遮へい板(防護用掛布)

患者の臥床するテーブルよりも上方にX線管がある場合に利用します。



遮へい無



遮へい有

具体的な防護具や防護方法を写真を用いてわかりやすく例示した。

5

今年度の研究成果 8〈記載例 4〉

05.

… 資料 …

資料1 放射線による水晶体の障害

放射線の被ばくによる白内障の発生は以前から知られています。放射線性白内障の発生は主として放射線が水晶体上皮細胞の異常分化を誘発し、異形成の線維性細胞を生み、微小混濁を形成するためです。しかし従来はこの微小混濁が必ずしも視力低下を伴う白内障にまで発展するとは考えられていませんでした。このため、線量限度決定の根拠として国際的にも視覚障害性白内障発生のしきい値(1%の異常出現値)を採用してきました。この値は慢性被ばくで8Gy、急性被ばくで2~10Gyです。ところが最近になり、原爆被爆者やチェルノブイリ事故清掃員疫学調査結果やマウスを用いた実験結果などから、微小混濁が視力障害性白内障へと進行する可能性があるとの考えが主流となり、現在は微小混濁のしきい値0.5Gyを放射線による水晶体障害のしきい線量として採用しています。

被ばく低減の必要性について、理解を深めてもらうために水晶体の放射線影響についても明記した。

6 - 70 -

今年度の成果(全体)

- 眼の水晶体の線量モニタリング及び医療分野の放射線安全に係る考え方を、事業者(放射線管理責任者等)及び専門家間でコンセンサスを得て、ガイドラインとしてまとめた。
- 眼の水晶体の線量モニタリングのガイドラインについては、国内外の研究成果等を踏まえ、使用する実用量と測定部位について課題を整理し、現行法令に基づき作成されたマニュアルの水晶体の線量モニタリングに関する部分を補うものとした。また、背景となる根拠についても解説するとともに、具体事例などを示すことで、各分野での管理の現場に取入れやすいものとなるようにした。
- 医療従事者の放射線安全管理のガイドラインについては、水晶体の被ばく管理を中心に、安全利用の基本を示すとともに、「診療ガイドライン」に準拠した体裁とし、推奨度を明確化することで、診療従事者にも受け入れられるものと考えられる。本研究をもとに、各診療科においてガイドライン作成が進展することが期待できる。
- 本研究をもとに関連学会でガイドラインが制定されること等により、法令遵守と防護の最適化を図ることができるものと考えられる。

7

研究評価委員会の総合評価コメントへの対応

- 医療スタッフが準法令と考える「ガイドライン」の形をとった。
- 水晶体の等価線量が高くなる診療科、手技、状況等がわかるよう項目、例題等を設けた。
例) 「IVRやCT透視等の手技」(スライド21)
「放射線科、整形外科、消化器科、呼吸器科のIVRで透視台近傍のスタッフやCT検査室内に残る医師等」(スライド22)

今年度の自己評価

- 主任研究者及び分担研究者とともに、概ね計画通り実施した。
- 本研究課題は、本年度で終了する。

放射線規制及び放射線防護分野への活用

- 関連学会の眼の水晶体の線量モニタリングや医療スタッフの放射線安全に関連するガイドラインの作成に活用する。
- 放射線防護教育のための資料として活用する。

8 - 71 -

研究成果発表等

- 横山須美, 水晶体ガイドライン作成について, 日本保健物理学会講演会:ICRP勧告取入れにおける国内動向(2019年6月東京)(口頭発表)
- 大野和子, 日本医学放射線学会第332回関西地方会 教育講演(日本医学放射線学会必須講習会)「医療放射線防護を取り巻く潮流」(2019年06月大阪)
- 横山須美, 大野和子他, 日本保健物理学会シンポジウム:水晶体防護に係るガイドラインを考える(2019年7月東京)(口頭発表)
- 横山須美, 実効的な水晶体等価線量モニタリングのガイドライン作成に向けて, 第47回日本放射線技術学会秋季大会, 放射線防護フォーラム(2019年10月大阪)(口頭発表)
- 大野和子, 横山須美他, 医療放射線防護連絡協議会 医療の安全利用フォーラムパネルフォーラム開催(2020年2月東京)
- 横山須美, 水晶体線量モニタリングの在り方について, 2020年日本原子力学会春の年会(口頭発表)(2020年3月福島*開催中止)
- 横山須美, 大野和子他, 水晶体の線量モニタリング・放射線防護の動向, 日本保健物理学会第53回研究発表会Web大会(2020年6月予定)
- Sumi Yokoyama et al., Development of Guidelines on Radiation Protection for the Lens of the Eye in Japan, IRPA 15, (2021年1月, ソウル予定)
- 大野和子, 水晶体の被ばく線量引き下げと整形外科医の放射線誘発白内障の予防, 臨床整形外科 (in press)