

.....
医学教育における被ばく医療関係の
.....
教育・学習のための参考資料
.....

平成 24 年 4 月
独立行政法人 放射線医学総合研究所

改訂履歴

平成 24 年 5 月 16 日 文言の適正化、35 ページ図 3 の修正

平成 24 年 6 月 6 日 34 ページ「3.2.3 晩発影響」 第 4 項及び第 5 項の修正

平成 26 年 11 月 10 日 29 ページ 図 1 DNA の長さの単位の修正

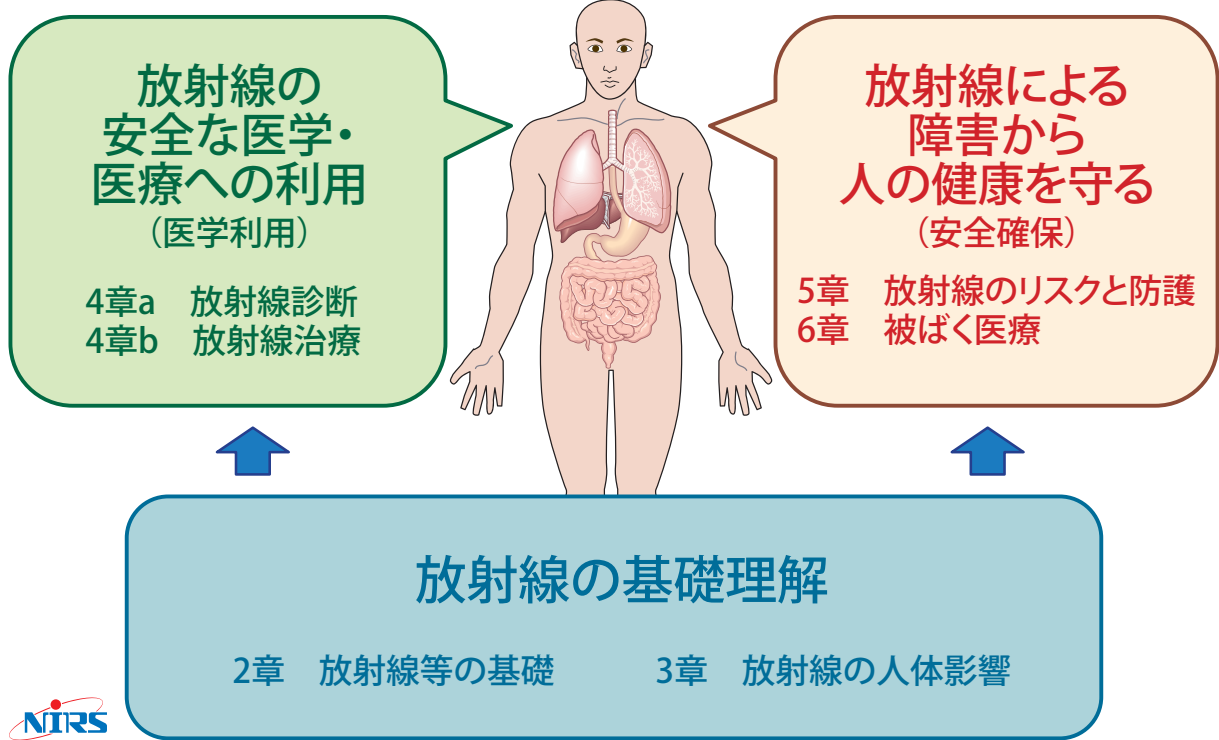
1. 本資料は、医学教育モデル・コア・カリキュラムに記載された、放射線防護、被ばく医療関係の項目を踏まえ、大学における医学教育の現場でご活用いただくことを念頭に、教育・学習の内容を体系的に整理した参考資料です。
2. 本資料中、別途出典を明示した部分以外の部分については、出典として本資料名及び放射線医学総合研究所名を明示いただければ、無償で自由に引用することができます。
3. 本資料中、別途出典を明示した部分の利用については、著作権法の趣旨を踏まえ、当該著作権者にご確認ください。

医学教育における被ばく医療関係の 教育・学習のための参考資料

目次

はじめに	1
1 総論	
1.1 医師と放射線・被ばく医療	5
1.2 歴史的背景の理解	7
2 放射線等の基礎	
2.1 放射線・放射性物質とは何か	13
2.2 測定、線量と単位	19
3 放射線の人体影響	
3.1 放射線の生物作用	27
3.2 放射線の健康影響	33
4 放射線の医学利用	
4a 放射線診断	
4a.1 放射線診断の原理・実際と有害事象	41
4a.2 核医学診断の原理・実際と有害事象	49
4b 放射線治療	
4b.1 放射線治療の原理・実際と有害事象	56
5 放射線のリスクと防護	
5.1 放射線のリスク管理	63
5.2 公衆被ばく	68
5.3 職業被ばく	72
5.4 医療被ばくと病院での被ばく	77
6 被ばく医療	
6.1 被ばく医療	85
6.2 緊急被ばく医療体制	95
6.3 チーム医療	99
【付録1】チュートリアル学習課題例	105
【付録2】予備知識のための基本用語集	115
索引	119
おわりに	121

本書の全体像



本資料で使用されている名称と記号

名称	記号	名称	記号
電子ボルト	eV	レントゲン	R
ジュール	J	ベクレル	Bq
アンペア	A	グレイ	Gy
クーロン毎キログラム	C/kg	シーベルト	Sv

本資料で使用されている単位の接頭語

倍数	記号	読み	倍数	記号	読み
10^6	M	メガ	10^{-2}	c	センチ
10^3	k	キロ	10^{-3}	m	ミリ
			10^{-6}	μ	マイクロ

はじめに

我が国の医科大学における医学教育は、各大学における創意工夫を前提として、2001年（平成13年）3月に取りまとめられた医学教育モデル・コア・カリキュラムにより、医学生が臨床実習開始時や卒業時まで身に付けるべき必要最小限の知識・技能・態度の具体的な到達目標として、その骨格が示されています。

この医学教育モデル・コア・カリキュラムと、全医科大学が共通で利用できる臨床実習開始前の標準評価試験システム（共用試験）により、我が国の医学教育全体の品質の向上が図られています。

2011年（平成23年）3月、さまざまな社会的ニーズを念頭に、医学教育モデル・コア・カリキュラムの改訂が検討された結果、放射線、災害医療関連等の内容を含む改訂が行われましたが、図らずも、同年3月11日、東日本大震災に端を発する東京電力福島第一原子力発電所における原子力災害が被災、放射線、放射性物質の健康影響が、多くの国民の主要な関心事となりました。

今後、医療現場では、直接的な被ばく医療対応のみならず、被災された方々のみならず多くの市民の放射線、放射性物質の健康影響に関する質問等に対応するための基本的な素養が求められます。また、いわゆる国民保護法制に基づき、放射性物質等を用いたテロリズムから国民の健康と安全を守るためにも、医療関係者には放射線防護、被ばく医療に関する基本的な素養が求められています。

しかしながら、今般の原子力災害を通じて、原子力災害への対応を的確に行うために必要な放射線防護等に関する基礎的な知識、経験が、一部の関係者を除き、十分には行きわたっていない状況にあることが明らかになりました。

本資料は、こうした背景を踏まえ、改訂された医学教育モデル・コア・カリキュラム中の、放射線防護、被ばく医療関係の項目等に着目し、医学生に被ばく医療を中心に教授すべき基本的な事項を体系的に整理し、併せてこの分野のチュートリアル教育のためのテーマ等を提示したものです。また、医学生の自学自習の際の参考としても利用できるように配慮されています。

取り上げた内容は多岐にわたるものであり、医学教育の他領域の教育・学習との関連において理解を深めるべきものも数多くあります。このため、必ずしも内容の精選という医学教育モデル・コア・カリキュラムの思想には即していない部分もありますが、実際の医学教育・学習現場における参考資料という本書の性格を踏まえた内容になっています。関係各位には、この点をご理解いただき、実際の場面でご活用いただければ幸いです。

本資料が、医学教育における被ばく医療分野の教育・学習の一助となり、この分野に関心と素養を有する医療関係者が多く輩出されることを期待しています。



1 総論

1.1 医師と放射線・被ばく医療

放射線は自然界にも存在する。土壌、鉱石や岩石には、自然界に由来する放射性核種が含まれており、体内にもカリウム 40 (K-40) をはじめ、数種類の放射性物質が存在している。人々は知らず知らずのうちに放射線を浴びている。被ばく医療を学習するに当たっては、まずこの事実を認識する必要がある。

19 世紀の最後の 10 年以降、医療のみならず、多くの産業活動において、放射線の利用が進展した。近時、医学診断、治療における放射線発生装置等の利用はめざましい。したがって、医師は、放射線の健康影響に関する正しい理解の上に、放射線の医学応用のメリットを活かしていかなければならない。

一方、社会の様々な場面における放射線との関わり合いの進展に伴い、稀ではあるが、放射線による被ばく事故(注 1) も発生している。更に、2011 年 3 月 11 日の東日本大震災を契機とした原子力災害により、日本社会は今後かなり長い期間にわたり、放射線の健康影響という課題と直接向き合わなければならなくなった。

以上のような歴史的流れを背景に持ち、放射線被ばくによる健康影響が懸念される状況に速やかに対応する医療が、被ばく医療である。放射線には色も香りもなく、その存在を知るためには、検出機器が必要となるほか、被ばくしていること自体わからないことも多い。更に、被ばくの病例から、症状が出るまでには時間を要することが分かっている。症状の出現形態も、被ばくの態様によりさまざまである。図 1 は、さまざまな関連領域と連携して進められるべき被ばく医療について、本参考資料の内容を念頭に置きつつ、将来の方向性を展望したものである。

被ばく医療に関しては、内閣府原子力安全委員会の「緊急被ばく医療のあり方について」(2008 年改訂版)において、「いつでも、どこでも、誰でも最善の医療を受けられる」ものとしているとおり、その実施は、さまざまな領域の医療との共同作業となる。また、放射線防護、計測また線量評価の専門家といった医師以外の専門家との共同作業という側面が大きい。被ばく医療において、チーム医療が重要な所以である。患者中心の視点、コミュニケーション能力、チーム医療の視点は、「医学教育モデル・コア・カリキュラム」(2010 年度改訂版)で示された医師として求められる基本的な資質 8 項目(注 2)に含まれるものであり、他の項目とともに医師が被ばく医療に携わる場合にも当てはまる。

医師は、放射線にかかる上述のような事情を十分に認識する必要がある。

すなわち、今後の医師には、医師として求められる基本的な資質の涵養をベースとして、

- 医学(診断・治療)における放射線利用の進展への適切な対応
- 放射線被ばくもしくは放射性物質による汚染患者に対する適切な診療
- 日本社会に広がっている放射線の健康影響に関する漠然とした懸念に対する、科学的知見に基づく適切なガイダンスの実施

という観点から、放射線及び放射線防護に関する基本的な知識が強く求められる。なお、それは、医師のみならず、すべての医療人がそれぞれの立場で求められる重要な事項でもあろう。

【注 1】

放射線による被ばく事故とは、不慮の被ばくであり、結果として有害な障害が現われるかもしくはその可能性がある事象をいい、病院における診断及び治療時の被ばくは、疾患を持つ患者の利益のため計算された線量の範囲で、意思をもって行うものであり、線量が制御されている限りはこの被ばく事故の範疇ではない。

【注2】

- 医師としての職責
- 患者中心の視点
- コミュニケーション能力
- チーム医療
- 総合的診療能力
- 地域医療
- 医学研究への志向
- 自己研鑽

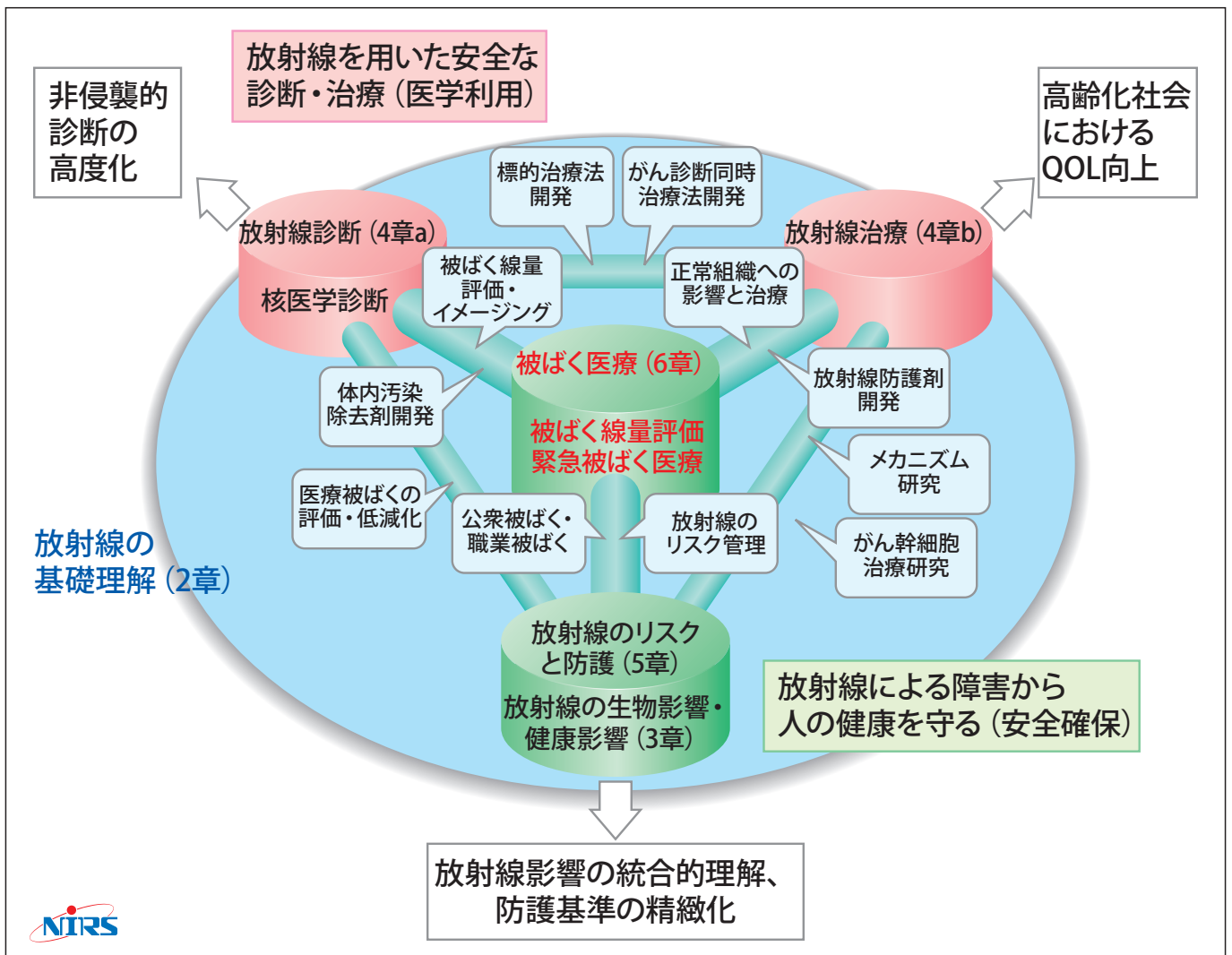


図1 放射線医科学と被ばく医療の構造と展望

1.2 歴史的背景の理解

被ばく医療を学ぶ際、放射線利用とその影響に関する基本的な歴史的背景を理解しておくことが重要である。その際の参考として、表 1、表 2 を示す。

放射線の歴史は、放射線被ばくとの戦いである。1895 年 11 月にレントゲンが X 線に関する論文を発表し、翌年にはベクレルによるウラン鉱石の発見が報告されている。残念なことに、この発見はキュリー夫妻によるラジウムの発見まで科学者にも注目されることはなかった。ほぼ同時期にベクレルにより放射性物質からの放射線による皮膚の発赤という皮膚障害が報告されているにもかかわらず、光と似ておりしかも五感で感じるできない X 線が危険であることを認識した者は、当時、必ずしも多くはなかった。

X 線により障害が起きることを初めて報告したのはエジソン等であり、X 線による眼の障害が 1896 年に報告されている。同年にはダニエルが X 線による脱毛を報告し、またトムソンが 1 日に 30 分、数日間にわたり指を X 線の管球に触れると痛み、膨張、硬縮、紅斑、水疱が生じることを示している。このようにレントゲンによる発見からわずか 1 年の間に X 線による有害な事象が分かってきた。

放射線防護が科学として発達したのは 1925 年以降である。1945 年に人類は初めて、核爆発による広島、長崎の悲劇に直面した。その後、放射線による健康影響に関する研究の成果は、放射線にかかわる様々な活動の安全確保において活用され、今日では、原子放射線の影響に関する国連科学委員会 (UNSCEAR)、国際放射線防護委員会 (ICRP)、国際原子力機関 (IAEA)、世界保健機関 (WHO) 等の場において、放射線防護に関する世界的な安全確保に関する議論が行われている。

東日本大震災とそれに伴う原子力災害の収束に向けた対応は未だ途上にあるが、その過程を通じて得られた知見・経験は、確実に知識化し、後世に継承していかなければならない。医学生をはじめとする未来の医療関係者には、そのために必要な、放射線に関する基礎的な知識が求められている。

表1 放射線医学史年表

	X線診断	放射線治療	核医学	放射線障害	医学分野以外の利用	共通事項、その他
1895	1895 X線透視法およびX線撮影法の発明					1895 X線の発見
	1896 X線写真による診断 ・骨折や腎石 ・体内の異物 消化管造影の試験	1896 鼻咽喉がんのX線治療(死亡)		1896 X線による急性障害 ・急性皮膚炎 ・脱毛		1896 放射能の発見
	1897 X線映画 ・カエルの足	1897 有毛性母斑のX線治療(初の治療成功例)				
	1898 X線写真による診断 ・胆石	1898 慢性湿疹のX線治療(成功)		1899 血管内皮の変性		1899 α線、β線の発見
		1899 皮膚がんのX線治療(成功)		1900 X線誘発皮膚がんによる死亡		1900 γ線の発見
1900						
1901		1901 ラジウム治療開始		1901 ラジウムによる皮膚障害		
		1902 ホジキン氏病のX線治療		1902 X線取扱者の皮膚がんの因果関係を示唆		
	1904 尿管造影の試験	1903 ラジウム腔内照射開始		1903 放射線の催奇性発見		
		1904 ラジウム組織内照射法開発		1904 白血球減少症の発見		
	1907 気管支造影の試験			1905 ラジウム皮膚障害による死亡		
	1918 脳室撮影法を発表			1909 放射線障害の外科的治療	1909 ラジウム蛍光塗料(時計)製造	
	1919 血管造影成功					
1920						
1921	1921 断層撮影法特許出願			1924 ラジウム沈着による骨壊死の報告		
			1926 天然のRaC (Bi-214)を用いて人の血流測定			1932 中性子の発見
			1936 Na-24, P-32による白血病治療開始			1934 人工放射能の発見
		1938 速中性子線治療実施	1941 放射性ヨウ素による甲状腺機能亢進症の治療			
				1947 トロトラストによる肝の血管内皮肉腫発生報告	1946 C-14年代測定法開発	1945 広島、長崎に原爆投下
1950					1950 ラセンウジバエの不妊成功	
1951		1951 熱中性子捕捉法の試験治療開始				1951 原子力発電開始
		1952 陽子・ヘリウムイオン治療開始			1952 ポリエチレンの放射線架橋を発見	
			1963 SPECT(原型)を発表		1954 厚さ計の試作	
	1972 X線CTを発表		1975 PETを発表		1972 ジャガイモへの照射認可	
1980						1979 米国スリーマイル島原発事故発生
1981						1986 チェルノブイリ事故
						1999 JCO臨界事故
2011						2011 東京電力原発事故

(出典：館野之男著「放射線医学史」岩波書店 1973 より一部改変)

表 2 被ばく医療の点から重要な原子力・放射線事故

年	タイプ	場所	概要
1957	放射性物質放出	キシュテム 旧ソ連	高レベル廃液貯槽の爆発。冷却系の故障による有機混合物（酢酸塩等）の爆発。多量の放射性物質の環境への放出等。
1979	原子炉	スリーマイル島 USA	加圧器逃がし弁開固着により一時冷却材が流出。非常用炉心冷却系を手動で停止。重大な炉心損傷。格納庫は無事。環境へ放射性物質が放出。一部住民避難を伴う。
1986	原子炉	チェルノブイリ 旧ソ連	低出力運転でタービンの試験を実施。燃料および原子炉の破損。黒鉛減速材) および建屋の火災。大量の放射性物質の環境放出。被ばくにより 28 名死亡。100 名以上が急性放射線障害。
1987	密封線源	ゴイアニア ブラジル	使用されなくなった医療用のセシウムの線源が盗難され解体される。周辺の汚染、4 人死亡、50 人入院。
1999	臨界	東海村 日本	ウラン加工施設での臨界事故。作業員 3 名被ばく（内 2 名死亡）。
2011	原子炉	福島 日本	地震に引き続く津波により、電源喪失。水素爆発発生。4 つの原子炉から多量の放射性物質放出。

(出典:UNSCEAR「UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Annexes.; Sources and effects of ionizing radiation, Volume II, Scientific Annex C」 2008 より改変)



2 放射線等の基礎

単元名	2.1 放射線・放射性物質とは何か
改訂コアカリ 関連記載事項	○放射線と放射能の種類、性質を説明できる。
一般目標	○放射線等の性質に関する基本を学ぶ。
到達目標	○放射線と放射能の種類、性質を概説でき、それらが放射線生物影響と密接に関係していることを理解する。
理解すべき要点	○放射線にはいろいろな種類があり性質が異なる。 ○あらゆる作用は電離(励起含む)に起因する。
教授すべき 必須事項	○放射線医学を学ぶ上での最も基本的事項であることを認識させる。
キーワード	放射線、放射能、核分裂、放射性同位元素、放射性物質、半減期、放射線発生装置、放射化、放射線と物質の相互作用、放射線の性質
参照 tutorial	1

概要

2.1.1 放射線と放射能

- 物質(分子・原子)を電離(+電荷のイオンと-電荷の電子に分離)(図1)する能力を持つ粒子線、あるいは電磁波を放射線と呼ぶ(図2)。粒子線として α 線、 β 線、中性子、電磁波として γ 線、X線が代表である。放射線のエネルギーはエレクトロンボルト(eV)で表される。1eVは 1.6×10^{-19} ジュール(J)である。
- 不安定な原子の原子核は自然に壊変(崩壊)し放射線を放出する。1秒間に壊変する個数を放射能と定義し、ベクレル(Bq)で表す。放射能は時間とともに減少する。半分まで減少する時間を半減期(図3)といい、例えばセシウム137(Cs-137)はおよそ30年、ヨウ素131(I-131)はおよそ8日間の半減期を持つ。

2.1.2 放射性同位元素から放出される放射線

- 放射線を放出する元素を放射性同位元素(ラジオアイソトープ、RIとも呼ばれる)と呼び、それらを含むものを放射性物質と言う。放射性同位元素からは α 線、 β 線、 γ 線等が放出される。
- α 線は+2の電荷を持ったヘリウム原子核で、電子の7300倍の重さである。 α 線を放出するものはプルトニウム239(Pu-239)、ウラン235(U-235)、ラジウム226(Ra-226)、ラドン222(Rn-222)等である。
- β 線は原子核から放出される-1の電荷を持った電子である。 β^- 線と呼ばれることもある。コバルト60(Co-60)、セシウム137(Cs-137)、ヨウ素131(I-131)、ストロンチウム90(Sr-90)、カリウム40(K-40)等から放出される。
原子核から+1の電荷を持った陽電子が放出されることがある。この陽電子を β^+ 線と呼ぶ。フッ素18(F-18)等はPET用の放射性医薬品に使われている。
- α 線、あるいは β 線の放出と同時に γ 線も放出されることが多い。

2.1.3 核分裂で放出される放射線

- ウラン235(U-235)やプルトニウム239(Pu-239)等は中性子を吸収すると2個の原子核に分裂する。これが核分裂で、2個の原子核は核分裂生成物と呼ばれる。

- ・核分裂に伴って 2~3 個の中性子が放出される。この中性子が周りのウラン 235 (U-235) やプルトニウム 239 (Pu-239) をさらに核分裂させる。これが持続したものが連鎖反応で原子炉の原理になっている。
- ・核分裂生成物は質量数がおおよそ 95 付近と 140 付近である。前者の代表はストロンチウム 90 (Sr-90) で後者の代表はセシウム 137 (Cs-137) やヨウ素 131 (I-131) である。核分裂生成物は一般に不安定で放射性であり、 β 線や γ 線を放出する。

2.1.4 放射線発生装置から放出される放射線

- ・診断用の X 線は小形の発生器によって作られる。治療用の X 線はリニアック等の放射線発生装置によって作られる。シンクロトロン等の大型の放射線発生装置はがん治療を目的に陽子線 (+1 の電荷、電子の 1840 倍の重さ) や炭素線 (+6 の電荷、電子の 22080 倍の重さ) を発生する。
- ・高エネルギー (数 MeV 以上) の放射線を発生する放射線発生装置では、照射の対象や装置の一部が放射能を帯びる放射化が起きる場合があり、取扱いに注意を要する。

2.1.5 放射線と物質の相互作用

- ・ α 線、 β 線等の電気を持った粒子線は物質を直接電離 (クーロン力による) する (図 4、5)。特に α 線は β 線等の数百倍の電離密度を有する。陽子線、炭素線も同様に物質を高密度に電離する。
- ・ γ 線、X 線は物質を直接電離することではなく、光電効果、コンプトン散乱などによって発生した 2 次電子によって物質を間接的に電離する。
- ・中性子は物質中の水素原子核と衝突し、はじき出された陽子によって物質を高密度に電離させる。
- ・単位距離 (μm) 進む間に電離によって相手に与えたエネルギー総量を線エネルギー付与 (Linear Energy Transfer, LET) と呼び、 $\text{keV}/\mu\text{m}$ で表す。 α 線は 100~150、Co-60 の γ 線は 0.2 である。線エネルギー付与は生物影響に関する重要な指標である。

2.1.6 放射線の性質

- ・ α 線は電離密度が高い (高 LET 放射線と呼ばれる) ので空気中で数 cm、紙 1 枚で止まる (図 6)。外部にあるときは皮膚を透過できないが、内部に入った場合は組織内で高密度な電離を起して止まるので DNA に大きな損傷を与える可能性がある。
- ・ β 線は空気中で数 m、プラスチック 1cm、アルミ板 2-3mm 程度で止まる (図 7)。外部にあるときは皮膚を透過し、上皮、上皮下に影響を与える。放射性医薬品から放出される β^+ 線は体内で即座に電子と結合し 2 本の 511keV の γ 線を放出する。
- ・ γ 線は空気中を数 10m から数 100m まで透過する。セシウム 137 (Cs-137) の γ 線の場合は鉛 5cm で数 100 分の 1 に減衰するが (図 8)、人体を容易に貫通し、重要臓器に影響を与える。X 線の場合も同様である。がん病巣に集中的に照射するとがんを死滅させることが可能である。
- ・中性子は空気中を数 100m 以上透過するが水素を含んだ水などで容易に止めることができる (図 9)。ただし、2 次的な反応として α 線、陽子、 γ 線などを発生させるので注意が必要である。ホウ素捕捉療法に使われる。
- ・陽子線、炭素線は体内での電離密度が高くがん治療に使われる。シンクロトロン等の放射線発生装置によって作られ、がん病巣を狙い撃ちできる。ただし、2 次的な反応として体内で中生子が発生する。

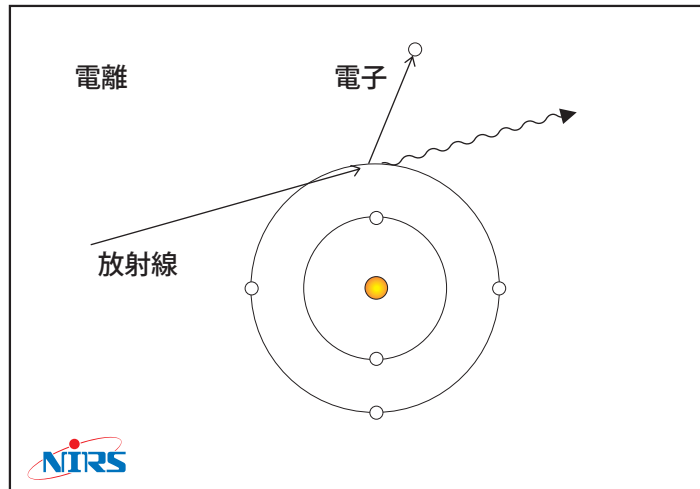


図1 電離の様子 (+ のイオンと - の電子に分離)

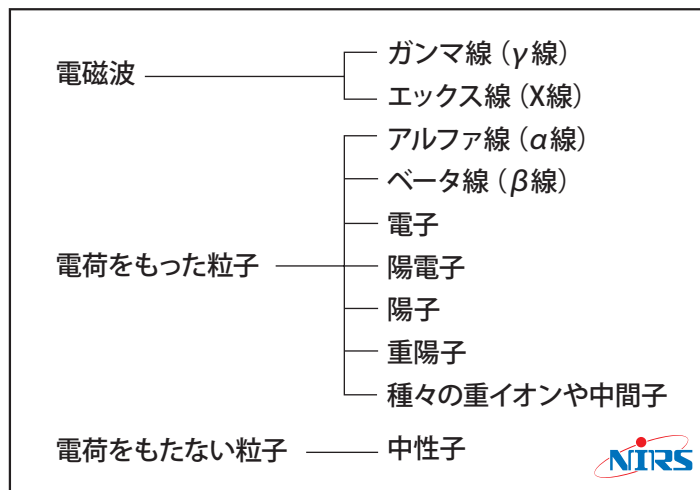


図2 放射線の種類

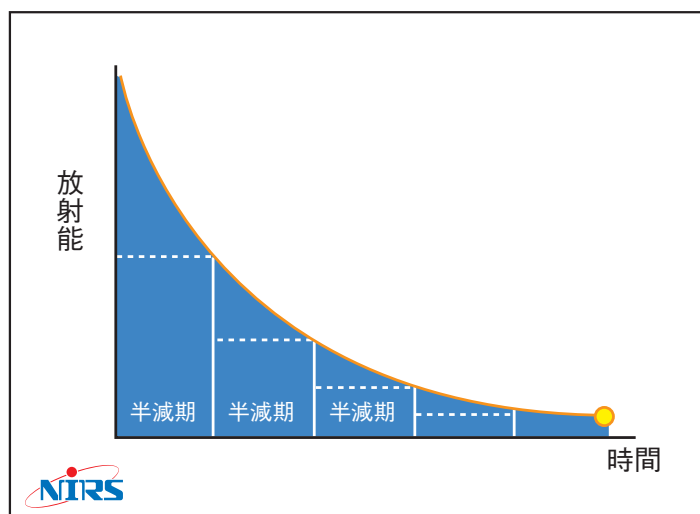


図3 半減期の概念

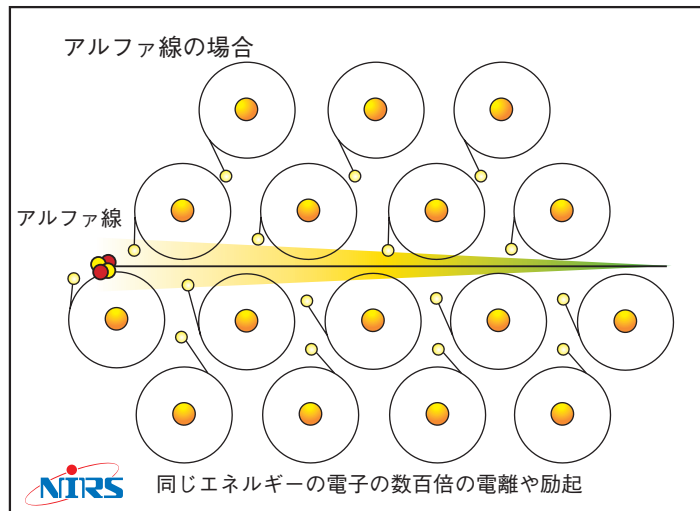


図4 電離密度の高い α 線 (高 LET 放射線)

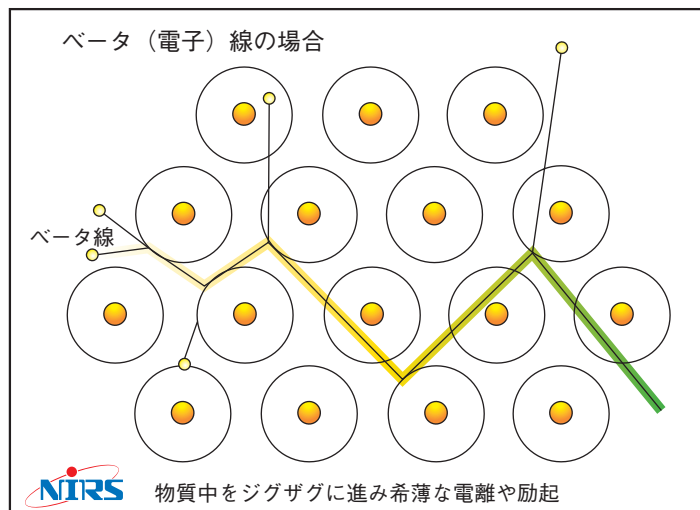


図5 電離密度の低い β 線 (低 LET 放射線)

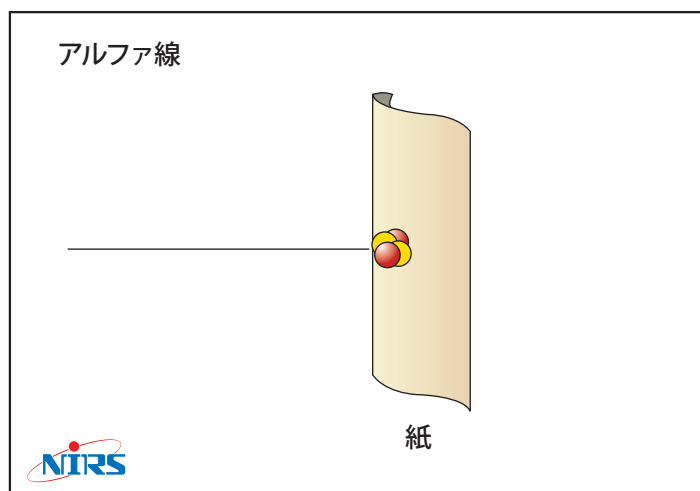


図6 紙1枚で止まる α 線

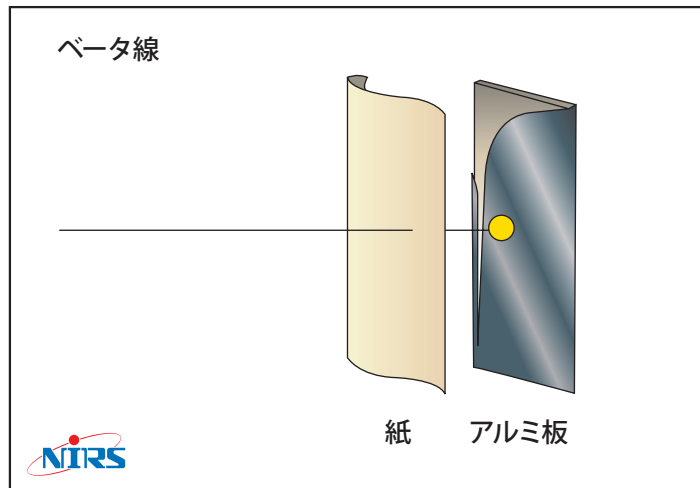


図7 アルミ板 2-3mm で止まる β 線

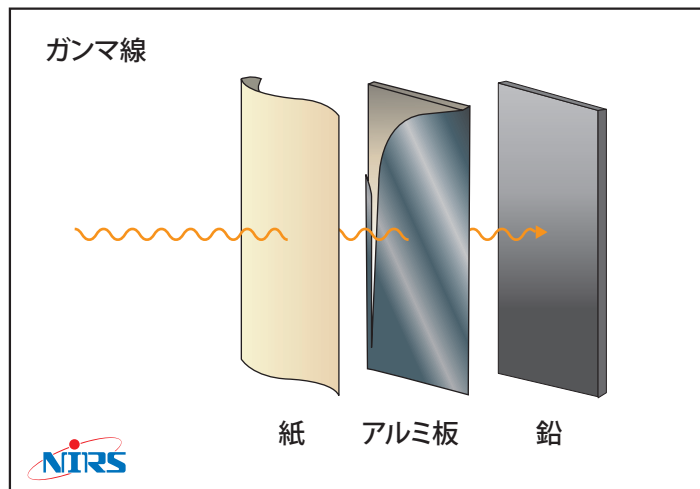


図8 鉛で止める γ 線(X線) …エネルギーによって遮へいのための鉛の厚さはまちまち

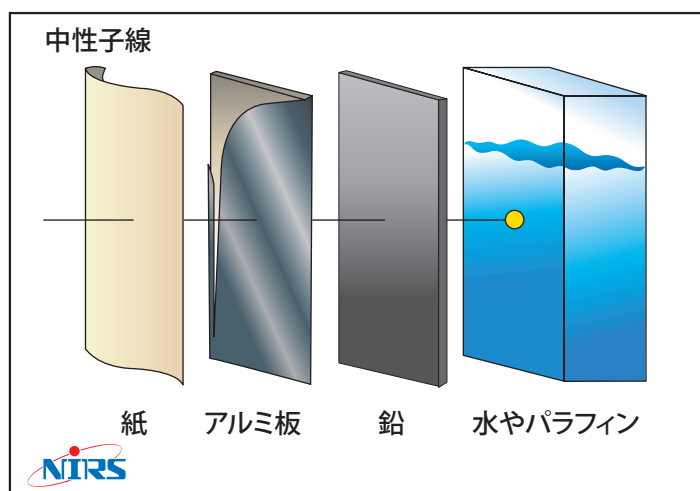


図9 水 20cm でおおよそ止まる中性子

例題

問1. 最も電離密度が大きい放射線はどれか。

- a. Co-60 の γ 線 b. 最高 250keV の X 線 c. 陽子線 d. 中性子 e. α 線

問2. 原子炉事故で飛散する恐れのない放射性同位元素はどれか。

- a. Cs-134 b. Sr-90 c. I-131 d. Ra-226 e. Cs-137

問3. 放射線発生装置で発生できない放射線はどれか。

- a. α 線 b. 中性子 c. X 線 d. 陽子線 e. 炭素線

例題の答えと解説

問1. の答え: e

- ・陽子以上の重さで + 電荷を持つ粒子線は電離密度が大きい。中性子は弾き飛ばした陽子が電離を起す。
- ・代表的な放射線の電離密度に対応する線エネルギー付与を示す。単位は keV/ μ m とする。

① Co-60 の γ 線:	0.2	② 最高 250keV の X 線	2.0
③ 陽子線	0.5-5.0	④ 中性子	50-150
⑤ α 線	100-150	⑥ 炭素線	100-2500

問2. の答え: d

- ・原子炉の燃料棒には U-235、U-238 等が当初含まれている。核分裂によって質量数 95 前後、140 前後の放射性同位元素（核分裂生成物とも言う）が生成される。
- ・Ra-226 だけ地球が誕生した当時から存在する自然の放射性物質である。

問3. の答え: a

- ・中性子は陽子を加速しリチウム (Li) にぶつけると発生する。X 線は電子を加速しモリブデン (Mo) などのターゲットに当てると発生する。
- ・ α 線は放射性同位元素の原子核から放出される。

上級者向け学習支援用教材

- ・(独)放射線医学総合研究所 HP で 2011 年 9 月 20 日、11 月 16 日に一般公開した「放射線教育用アニメーション (4 プログラム)」を参照
- ・福土政広: 放射線計測学、メジカルビュー社、東京、10-18、2009

単元名	2.2 測定、線量と単位
改訂コアカリ 関連記載事項	○測定法と単位を説明できる。
一般目標	○放射線等の性質に関する基本を学ぶ。
到達目標	○放射線医療（放射線被ばく含む）に使用される単位と測定法について概説できる。
理解すべき要点	○放射線量を測る方法と放射線量を示す単位を理解する。 ○照射線量 (C/kg、R)、吸収線量 (Gy) 等の線量測定量と等価線量 (Sv)、実効線量 (Sv) などの放射線防護量の意味と関係を理解する。
教授すべき 必須事項	○がん治療における治療のための線量として吸収線量 (Gy) を用いる。 ○放射線による診断など放射線被ばくには等価線量 (Sv)、実効線量 (Sv) を用いる。 ○放射線の種類と測定目的に応じて測定装置を使い分けなければならない。
キーワード	放射能 (Bq)、照射線量 (C/kg、R)、吸収線量 (Gy)、等価線量 (Sv)、実効線量 (Sv)、線量測定量、放射線防護量、線量当量 (Sv)、実用量、空間線量率 (μ Sv/h)、個人被ばく線量 (Sv)、電離箱検出器、シンチレーション検出器、半導体検出器、バッジ、ポケット線量計
参照 tutorial	2

概要

2.2.1 基本的な線量（放射線測定量）と単位

- 放射線物質（放射能 Bq）や放射線発生装置（kV、mA で出力が表される）からの放射線が飛んでいる環境に物質（空気、人体など）がある場合、その物体と放射線のエネルギー授受を表す物理的な量を放射線測定量と呼び、照射線量（図 1）、吸収線量（図 2）などがよく使われる。
- 放射線と物質（空気）との相互作用として生じる電荷（+ のイオンと - の電子）に着目した照射線量 (C/kg、R) がある。C/kg はクーロン毎 kg、R は旧単位のレントゲンである。1C/kg=3876R の関係がある。これは γ 線と X 線を対象にした単位であり、X 線発生装置の性能検査、試運転、調整などでよく使われる。
- 吸収線量 (J/kg) は放射線から物質（空気、人体など）が吸収した単位質量あたりのエネルギーとして定義される。電荷を作る時に必要なエネルギーが分かれば照射線量から導くこともできる。すべての放射線に適用できる量であり、放射線防護量を導く重要な量である。X 線、 γ 線、陽子線、炭素線などによるがん治療のときに病巣に対してどれだけ放射線を当てるかの指標として使われている。

2.2.2 人体への影響に着目した線量（放射線防護量）と単位

- 吸収線量は受け取ったエネルギーのみに着目しているが、同一の吸収線量であっても放射線の種類やエネルギーによって人体影響（がんの発生の指標となる確率的影響）は異なる。
- ひとつの組織・臓器に対して、それぞれの放射線による吸収線量に、放射線の種類やエネルギーによる生物的影響を加味した放射線加重係数を掛け、つぎに放射線ごとに足し合わせたものを等価線量 (Sv) と定義する。

例えば、 γ 線から 10mGy、1MeV の中性子から 5mGy を受けたとする。 γ 線の放射線加重係数は 1、1MeV の中性子の放射線加重係数はおよそ 21、したがって等価線量は、

$$10\text{mGy} \times 1 (\gamma \text{線分}) + 5\text{mGy} \times 21 (\text{中性子分}) = 115\text{mSv}$$

となる。

- ・実効線量 (Sv) は人体全身に対する影響を表すために考えられた線量である (図 3)。組織ごとの影響度を意味する組織加重係数を掛け合わせ、つぎに全臓器について足し合わせたものを実効線量 (Sv) と定義する。例えば肝臓に 100mSv、胃に 50mSv の等価線量があり、他の臓器は被ばくしなかったとする。肝臓の組織加重係数は 0.04 であり、胃は 0.12 である。したがって実効線量は

$$100\text{mSv} \times 0.04 \text{ (肝臓分)} + 50\text{mSv} \times 0.12 \text{ (胃分)} = 10\text{mSv}$$

となる。

2.2.3 放射線管理のための線量 (実用量) と単位

- ・実効線量は全身被ばくによる人体影響を表す概念として導入されたが、実際には各組織・臓器ごとの等価線量を測定することは困難であり、それゆえ実効線量も測定することは不可能である。
- ・そこで実効線量を現実的に代替し、サーベイメータ、個人被ばく線量計などで測定可能な量として線量当量が使われている。線量当量 (Sv) は測定器で測るために物理的な量のみで構成され、吸収線量 \times 線質係数 (水中における線エネルギー付与の関数) で表される。

2.2.4 放射線の測定原理と測定装置

- ・放射線の測定装置は実用量である線量当量、1時間当たりの線量当量 (線量当量率) を測るものである。表面の汚染を計る放射線測定装置もある。これは 1分当たりの放射線のカウントである計数率 (cpm) を求めるものである。
- ・放射線の持つ電離能力をもとにガスの電離量である照射線量 (C/kg、R) から吸収線量 (Gy)、つぎに空間線量率 ($\mu\text{Sv/h}$) を導き出す。⇒ 電離箱検出器、電離箱式サーベイメータ (図 4)
- ・放射線の持つ電離、励起作用の結果として発する蛍光を増幅し、エネルギー情報を用い空間線量率 ($\mu\text{Sv/h}$) を導き出す。⇒ シンチレーション式サーベイメータ (図 5)
- ・ポケット線量計 (図 6) などの電子式個人被ばく線量計は、半導体検出器などを内蔵し、個人の被ばく線量 (Sv) を表示するものである。作業者が被ばく線量を直読することができる。
- ・ガラスバッジなどの個人被ばく線量計は物質がもつ放射線の蓄積効果を利用したもので、1ヶ月間の積算線量を求めるものである。直読はできず、リーダーという装置で読み出す。放射線業務従事者の被ばく線量管理に用いられている。
- ・具体的には、 γ 線による空間線量率は NaI (ヨウ化ナトリウム) シンチレーション式サーベイメータ、電離箱式サーベイメータで測定する。表面汚染については、 β 線は GM (ガイガー・ミュラー) 管式サーベイメータ、プラスチックシンチレーション式サーベイメータで測定できる。 α 線は ZnS (硫化亜鉛) シンチレーション式サーベイメータで測定する。

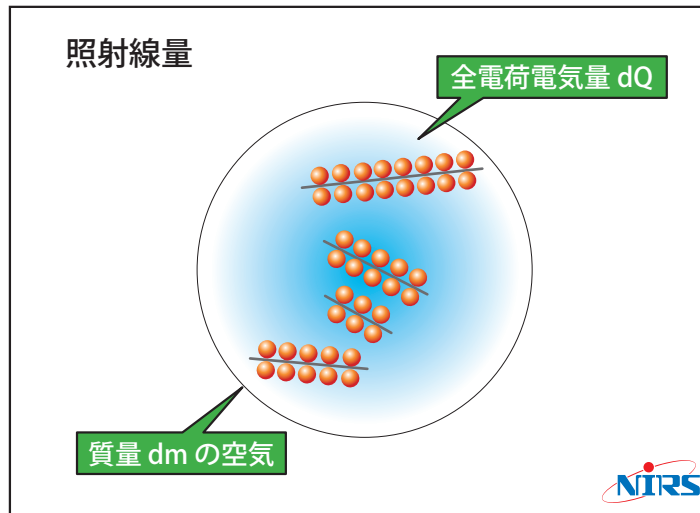


図1 照射線量 (定義 dQ/dm 、単位 C/kg)

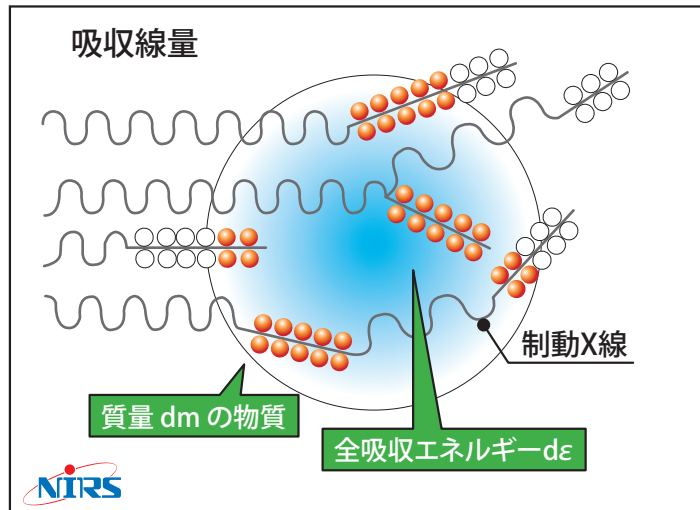


図2 吸収線量 (定義 $d \varepsilon /dm$ 、単位 J/kg、Gy)

放射線の人体に与える影響

実効線量: E (シーベルト: Sv)

$$E = \sum_T (W_T \times \sum_R (W_R \times D_{T-R}))$$

D_T : 組織ごとの吸収線量

W_R : 放射線加重係数

W_T : 組織加重係数



図3 実効線量 (単位 J/kg、Sv)

電離箱式サーベイメーター



図4 電離箱式サーベイメータ (空間線量率 μ Sv/h を測定、大線量向き)

シンチレーション式サーベイメーター



図5 シンチレーション式サーベイメータ (空間線量率 μ Sv/h を測定、低線量向き)

電子ポケット線量計



図6 電子式ポケット線量計 (個人被ばく線量 μ Sv を測定)

例題

問1. 放射線の吸収線量を示す単位はどれか。

- a. C/kg b. keV/ μ m c. μ Sv/h d. R e. J/kg

問2. サーベイメータで直接測定できるのはどれか。

- a. 等価線量 b. 空間線量率 c. 実効線量 d. 線エネルギー付与 e. 個人被ばく線量

問3. 放射線加重係数が最も大きい放射線はどれか。

- a. α 線 b. β 線 c. X線 d. γ 線 e. 10keV未満の中性子

例題の答えと解説

問1. の答え: e

- ・以下に整理する。

a. C/kg:	照射線量	b. keV/ μ m:	線エネルギー付与
c. μ Sv/h:	空間線量率	d. R:	レントゲン (旧単位)
e. J/kg:	吸収線量、Gy で表す		

問2. の答え: b

- ・等価線量、実効線量は現実的には測定できない概念上の量である。
- ・個人被ばく線量はポケット線量計やガラスバッジなどで測定する。
- ・線エネルギー付与は線量ではなく放射線の電離に関する能力を示すもので線質と呼ばれる。

問3. の答え: a

- ・ β 線、X線、 γ 線は電離密度が希薄で放射線加重係数は1である。
- ・中性子はエネルギーによって放射線加重係数の値が異なり、10keV未満はおおよそ3以下である。
- ・ α 線は電離密度が大きく放射線加重係数は20である。

上級者向け学習支援用教材

- ・(独)放射線医学総合研究所HPで2011年9月20日、11月16日に一般公開した「放射線教育用アニメーション(4プログラム)」を参照
- ・福士政広:放射線計測学、メジカルビュー社、東京、10-18、2009



3 放射線の人体影響

単元名	3.1 放射線の生物作用
改訂コアカリ 関連記載事項	○放射線の遺伝子、細胞への作用と放射線による細胞死の機序、局所的・全身的障害を説明できる。
一般目標	○放射線の人体影響に関する基本を学ぶ
到達目標	○放射線の生物作用について概説できる。
理解すべき要点	○正常細胞とがん細胞の放射線感受性は異なる ○放射線治療の有害事象低減と、被ばく事故での障害の軽減には、共通する部分が多い。 ○DNA 損傷から発がんまでの機構には、放射線に非特異的な生物反応が関与している。
教授すべき 必須事項	○DNA 修復タンパク欠損患者への放射線治療や IVR の適用は慎重に考える(過度の有害事象が発生した場合、医療事故となりうる)
キーワード	遺伝子・細胞・生体への作用、放射線損傷、細胞死、修復、突然変異、生物学的効果比 (RBE)、がん細胞への影響、分割効果、低酸素効果、局所被ばく・全身被ばく、確定的影響・確率的影響
参照 tutorial	3

概要

3.1.1 放射線が生体物質の励起と電離(イオン化)を誘発し、DNAなどの生体物質に損傷を与える。(図1)

- 放射線が生体に当たると、そのエネルギーの一部は吸収され、残りは通過する。物質の中を放射線が通ると、通路近くの原子の軌道電子が影響を受け、電離、励起を起こす(2.1.1を参照のこと)。
- α 線・中性子線は β 線・ γ 線に比べ、飛跡に沿って密に電離を起こす(=線エネルギー付与:LETが高い)。
- 放射線生物作用の主要標的はDNAである(図2)。
- DNA等が放射線のエネルギーを吸収して起こる損傷と、エネルギーを吸収した水分子等によって誘発される損傷がある。前者を直接作用、後者を間接作用と呼ぶ。主な間接作用は、水分子と放射線の相互作用で生じたラジカル($\cdot\text{HO}$ 、 $\cdot\text{H}$ 、水和電子、 H_2O_2)による。
- 低LET放射線の損傷は間接作用の寄与の方が大きい。高LET放射線では直接作用の寄与が高くなる。

3.1.2 放射線の作用は化学物質等によって修飾される。

- 低LET放射線では、酸素の存在下では、無酸素の時より生物学的効果が2.5~3倍増強される。
- がんには低酸素細胞が存在し、放射線抵抗性の原因になっている。
- SH化合物のような遊離基除去物質(ラジカルスカベンジャー)は細胞を防護する作用がある。
- 細胞致死でみた放射線感受性は温熱処理によって顕著な増感作用を受ける。

3.1.3 放射線損傷は修復されるが、修復不可損傷やミス修復の蓄積が、細胞死や突然変異の原因になる。

- DNAが損傷した細胞は、細胞周期が一時停止し、DNA修復を行う。
- DNA損傷修復に関係するタンパクが欠損する細胞は、放射線感受性(細胞死、突然変異)が高い。
- 損傷が残った細胞が自殺するアポトーシスは、個体全体で見るとがん抑制に働いている。
- がん細胞ではアポトーシスが誘導されないものが多く、放射線抵抗性の原因になっている。

3.1.4 放射線の電離・励起作用と生体における修復の結果として、生物作用が生じる。

- ・ 一般に低線量率照射（遷延照射や分割照射）では生物作用は減少するが、高 LET ではこの効果は小さい（図 3）。
- ・ 線質による違いは生物学的効果比（RBE、生物効果比ともいう）という尺度で測られる。

3.1.5 放射線による突然変異は確率的影響の、細胞死は確定的影響の原因になる（表 1）。

- ・ 発がんの多段階モデルでは、放射線の発がんはイニシエーターとして作用する。がん化にはプロモーション、プログレッションの過程を必要とするため、放射線発がんには潜伏期が存在すると考えられる（図 4）。
- ・ 一度に X 線や γ 線により 2Gy 以上の全身被ばくを受けた場合は、治療を必要とする確定的影響が発生する可能性がある。
- ・ 同じ吸収線量でも、局所に被ばくするか、全身に被ばくするかによって、個体への障害の程度が大きく異なる。

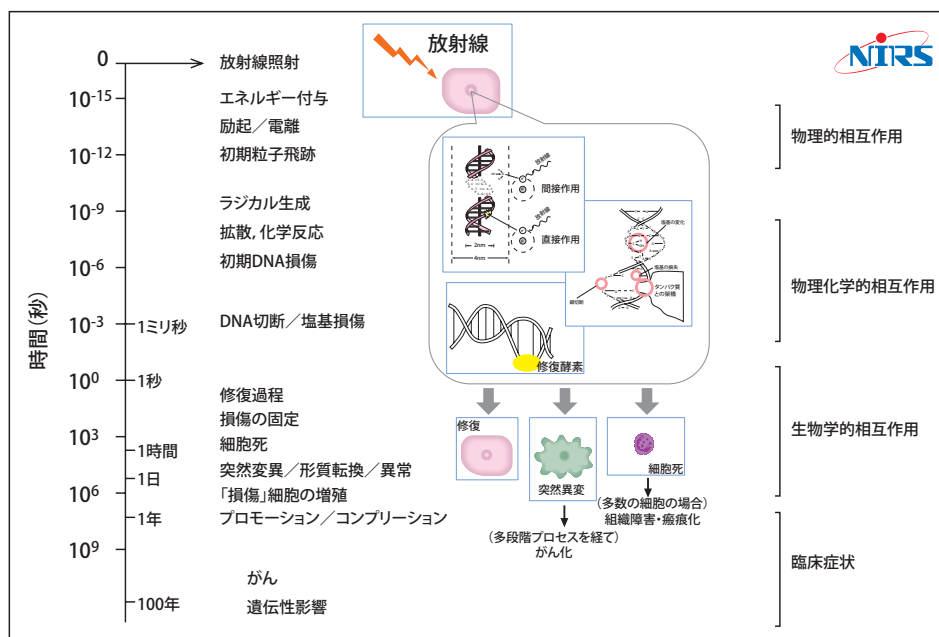


図1 放射線生物作用の発現プロセス

(出典: 国連科学委員会 「国連科学委員会 2000 年報告」 実業広報社 2000 より一部改変)

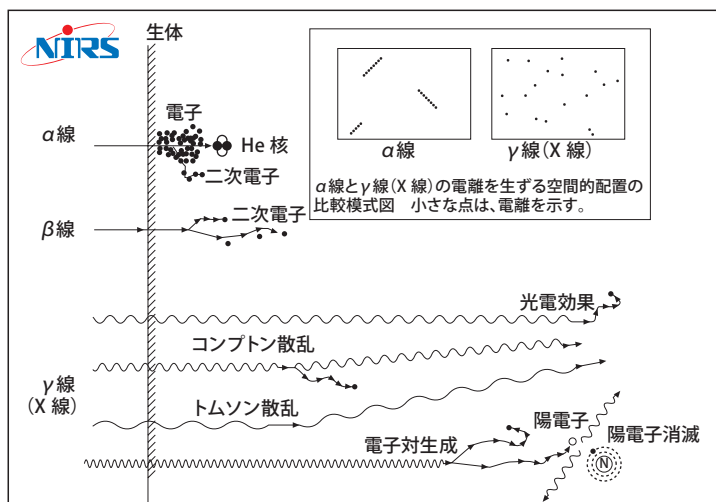


図2 放射線のDNAへの作用

α 線、 β 線、 γ 線(X線)では、生体の中を通過する力に大きな差がある。 α 線はその飛程が極めて短く、 β 線は長くとも1cm以内にすぎないが、 γ 線(X線)は人体を突き抜ける。放射線の生物学的効果はLETによって変わるため、 α 線は局部的に強い生物影響をもたらす。

(出典: 菅原努 監修 「放射線基礎講座」 金芳堂 2008 より一部改変)

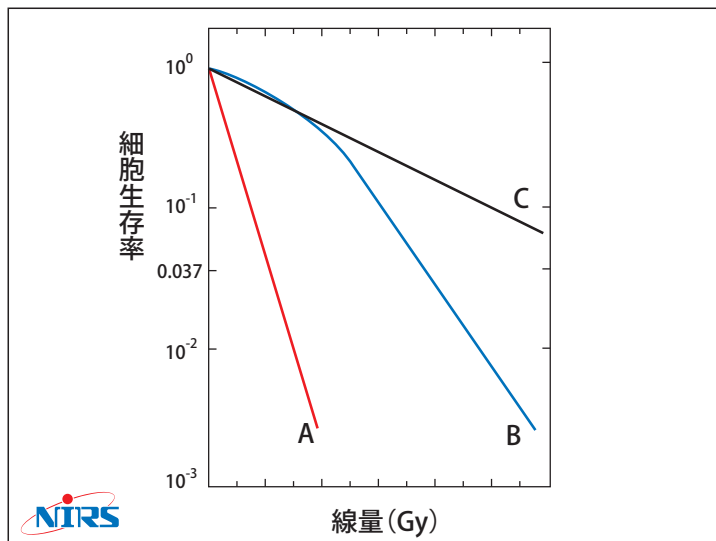


図3 線量生存曲線の模式図

- 低LET照射ではB、高LET照射ではA。重粒子線治療は、低酸素状態でもRBEが高いことを利用している。
- 一回照射ではB、分割照射ではC。多分割照射治療は正常組織と腫瘍組織とのわずかな感受性の差と回復力の差を利用している。
- 放射線修復能欠損細胞ではA、正常細胞ではB。末梢血管拡張運動失調症(AT)患者等の細胞は放射線感受性が高く、放射線治療においては投与する線量を減らす必要がある。

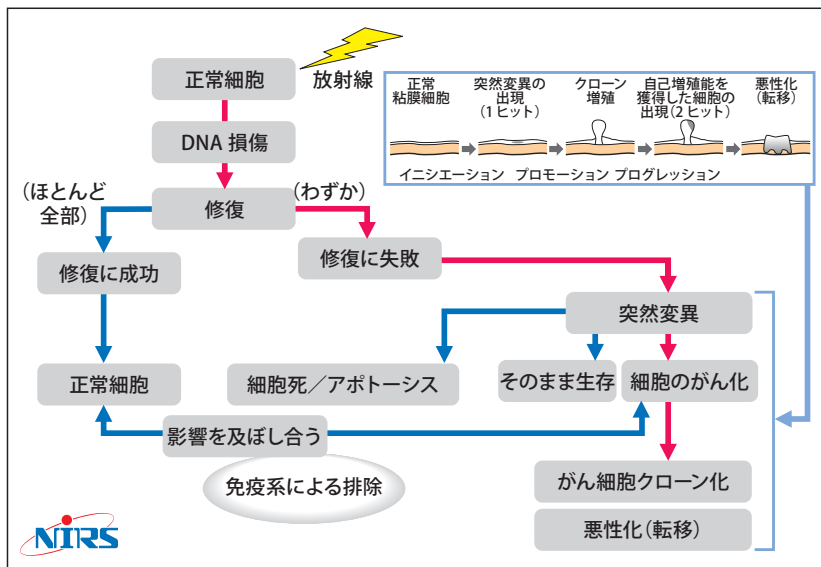


図4 放射線発がんの機構
放射線誘発のDNA損傷、その後のミス修復から、がんに関する遺伝子に突然変異が起こって、細胞ががん化する。DNA損傷修復や修復に失敗した細胞の排除、周辺正常細胞のがん化抑制等の防御作用、他の発がん要因との複合作用の結果として、がんが生じるまでには潜伏期間を要する。

表1 放射線の人体影響 - 確率的影響と確定的影響 -

分子	細胞		組織・臓器			個体	
損傷	障害	種類	臨床症状	分類	発症機構(原因)	線量効果関係	線量影響関係
DNA 損傷	突然変異	生殖細胞	遺伝性影響	確率的影響	単一細胞の突然変異		
		体細胞	がん				
	細胞死 あるいは 細胞変性	生殖細胞	不妊	確定的影響	多細胞の細胞死		
		体細胞	機能損失 (脱毛、皮膚障害、 急性放射線症など)				

(*3.2.3を参照のこと)

死因	1Gy 当たりの過剰相対リスク * () 内は 95% 信頼区間
総固形がん	0.47 (0.38, 0.56)
食道	0.51 (0.11, 1.06)
胃	0.28 (0.14, 0.42)
結腸	0.54 (0.23, 0.93)
肝	0.36 (0.18, 0.58)
胆嚢	0.45 (0.10, 0.90)
肺	0.63 (0.42, 0.88)
乳房	1.60 (0.99, 2.37)
膀胱	1.12 (0.33, 2.26)
卵巣	0.79 (0.07, 1.86)

* 過剰相対リスク (ERR) は線形モデルに基づき、市、性、被ばく時年齢、到達年齢で調整してある
(出典: Ozasa et al. Radiat. Res. 177, 229-243 (2012))

表2 原爆被ばく者データから推定された過剰相対リスク

例題

問1. 低LET放射線に当てはまらないのはどれか。

- a. 放射線の直接作用よりも間接作用の寄与の方が大きい。
- b. 線量率効果が顕著である。
- c. 概して生物学的効果比 RBE が大きい。
- d. 酸素効果が大きい。
- e. 放射線照射による正常細胞の生存率曲線には肩ができる。

問2. 放射線損傷の修復と関係ないのはどれか。

- a. 分割効果
- b. 染色体異常
- c. p53
- d. ミソニダゾール
- e. G1 停止

問3. がん細胞の放射線の感受性と関係ないのはどれか。

- a. アポトーシス
- b. 分化・未分化
- c. 腫瘍のサイズ
- d. 染色体数
- e. 逆線量率効果

例題の答えと解説

問1. の答え： c

生物学的効果比 (RBE) は数式で表すと以下の通りになる。

$$RBE = (\text{ある反応に必要な当該放射線の吸収線量}) / (\text{ある反応に必要な標準放射線の吸収線量})$$

標準となる放射線には、200kV の X 線か Co-60 のガンマ線が使われることが多い。RBE の値は、急性障害、発がん、遺伝性影響、細胞死等、影響の種類によって、あるいは生体の状況や照射の条件によって変わるが、同じ影響、同じ線量で比較した場合、概して低 LET よりも高 LET の方が大きい。

問2. の答え： d

- a. 一回高線量率照射に比べ、低線量率照射や分割照射の単位線量あたりの影響が小さくなるのには、亜致死損傷の回復が関係していると考えられる。
- b. 染色体異常は、染色体損傷の修復のエラーによって生じる。
- c. p53 はがん抑制遺伝子で、DNA 損傷チェックポイントに関与する。
- d. ミソニダゾールは放射線治療で用いる低酸素細胞増感剤で、酸素同様、電子親和性である。
- e. 放射線で DNA が障害を受けると、細胞周期を G1 期にとどめて (G1 停止、G1 arrest)、障害修復の時間稼ぎを行う。それでも修復不可能な場合は、アポトーシスによりその細胞が排除される機構が存在する。

問3.の答え： e

- a. がん細胞ではアポトーシスが誘導されないものが多く、放射線抵抗性の原因になっている。
- b. 未分化の腫瘍は高分化の腫瘍よりも放射線感受性が高い。
- c. 腫瘍が大きくなると、内部に低酸素細胞が増えて、放射線感受性は低くなる。
- d. がん細胞には染色体数の異常を示すものが多い。染色体が増加すると、放射線にヒットしやすくなるため、感受性が上がる。
- e. 逆線量率効果は高 LET 放射線照射でまれに見られる現象で、線量率が大きい時よりも線量率が小さくなった時に生物効果が大きくなる現象。なお正常細胞でも、未分化で分裂能が高い組織ほど放射線感受性が高い
(例： 消化管上皮細胞・生殖細胞・造血細胞など)。

上級者向け学習支援用教材

- 木村博、米原英典、池淵誠、江島洋介、西臺武弘：放射線基礎医学 第11版（菅原努・監修、青山喬、丹羽太貴・編著）、金芳堂、京都、2008

単元名	3.2 放射線の健康影響
改訂コアカリ 関連記載事項	○種々の正常組織の放射線感受性の違いを説明できる。放射線の人体（胎児を含む）への影響の特徴（急性影響と晩発影響等）を説明できる。
一般目標	○放射線の人体影響に関する基本を学ぶ
到達目標	○放射線の健康影響：放射線の急性影響、晩発影響について概説できる。
理解すべき要点	○被ばくの形態によって、生じる影響も違う。 ○同じ線量の被ばくの場合、急性被ばくの影響が慢性被ばくより強い。 ○LNTモデル ○急性放射線症 ○放射線発がん
教授すべき 必須事項	○LNTモデル ○放射線発がんの線量効果関係の考え方
キーワード	臓器レベルでの影響、急性影響、晩発影響、発がん、胎児影響、局所被ばく、全身被ばく、線量による差
参照 tutorial	4、5、6、7、10、13、14、15、16

概要

3.2.1 被ばくの形態

- 放射線被ばくの形態を分類すると、外部被ばくと汚染にわかれ、汚染には、体表面汚染と内部汚染（内部被ばく）がある（図1）。（詳しくは6.1 被ばく医療の項参照）
- 外部被ばくの形態として、全身被ばくと部分被ばくがあり、同じ線量であれば全身被ばくした方が、影響が強い（図2）。
- 短時間に受ける急性被ばくの方が、長時間にわたって被ばくする慢性被ばくよりも同じ線量であれば影響が強い。
- 内部被ばくは、体内の放射性物質が量を減らしながらも長期間被ばくが続く。（詳しくは6.1 被ばく医療の項参照）

3.2.2 急性影響

- 一般に組織の放射線感受性は、細胞分裂の頻度の高いものほど、将来行う細胞分裂の数が多いものほど、形態・機能が未分化なものほど高い。（ベルゴニー・トリボンドーの法則）
- 1Gy 程度以上の放射線の急性外部被ばくを全身に受けた場合、数週間以内にあらわれる病態は、急性放射線症 (Acute Radiation Syndrome) と呼ばれる一連の臓器障害をきたす。この場合、線量が少ないと臨床症状が起きない事もあるが、線量増加とともに細胞の寿命が短く、細胞分裂による再生が活発な造血管の障害に始まり、消化管障害、神経血管障害の順で現れてくる（図3-5）。これらの障害は、放射線感受性の高い臓器、組織に中心に現れる。
- 急性放射線症の時間経過をみると、典型的には、前駆期、潜伏期、発症期の経過をたどり回復するか死亡する（図6）。
- 局所被ばくの場合は、当然被ばくした部分の臓器の障害が現れてくる。大きい体積を被ばくするほど同じ線量でも影響が大きい。放射線治療の有害事象を学ぶ上での基礎である。
- 全身の表面にある皮膚は障害を受けやすい。線量増加とともに、発赤、乾性皮膚炎、湿性皮膚炎という症状を現してくる。一般にはこれらの症状は数日以上たってから現れてくるが、被ばく直後に初期皮膚紅斑がでることもある。

3.2.3 晩発影響

- ・晩発影響とは、被ばく後数週間以降現れてくる影響を指す。
- ・線量によって、全身のいろいろな臓器に晩発影響が現れる。
- ・例えば、眼の水晶体は比較的感受性の高い臓器であり、放射線によって白内障を起こす。
- ・晩発影響の中で特に重要なのが、発がん、つまり悪性腫瘍の発生である。発生までの時間は、白血病では2年程度、多くの固形がんでは5～10年程度から頻度が増加してくる。
- ・発がんの発生頻度についてみると、発がんは確率的影響と考えられており、しきい値が無く、発症頻度は線量が増加するとそれに伴って増加すると考えるのが一般的である。頻度の増加が直線的であるとするLNTモデル(Linear-non-threshold model)も提唱されている。ただし、バックグラウンドとして、被ばく線量が0でも、他の因子(例えば、たばこや食事)による発がんがある。
- ・ICRPによれば、低線量率被ばくの場合、おおよそ100mSvあたり0.5%程度生涯がん死亡確率が上昇するとされている。(ICRP Publication 103)

3.2.4 胎児被ばく

- ・特殊な被ばく形態として、胎児被ばくがある。妊娠の時期によって、胎児死亡、奇形、精神遅滞を生じるが、これらはいずれも確定的影響である。ただし、発がんの増加もあり、これは確率的影響である。
- ・胎芽／胎児死亡は着床前期(受精から9日)に感受性が高く、しきい値は100 mGy程度である。奇形は器官形成期(2-8週)に感受性が高く、しきい値はおおよそ100 mGyである。精神発達遅滞は胎児期の8から15週に感受性が高く、しきい線量は少なくとも300 mGyである。(5.4 参照)

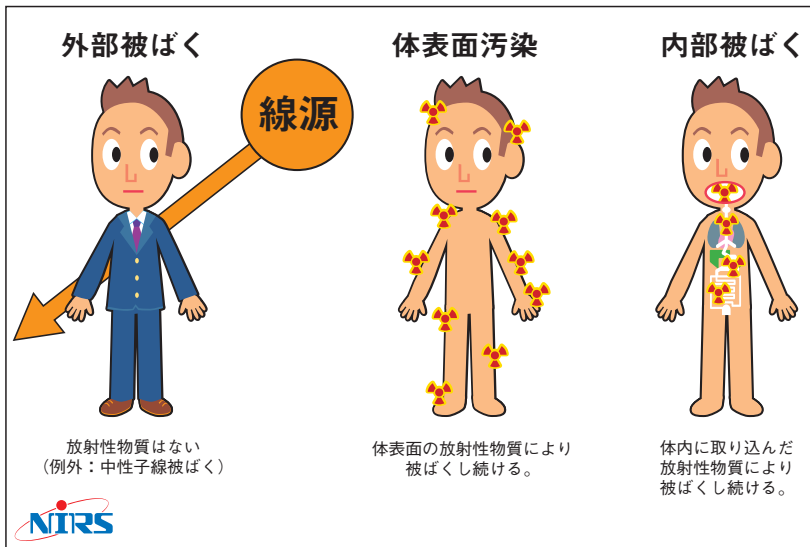


図1 被ばくの種類

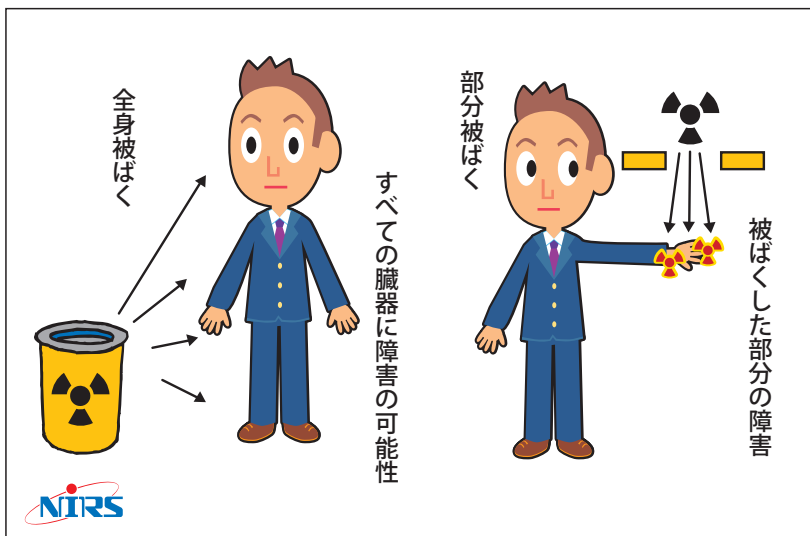


図2 全身被ばくと部分被ばく

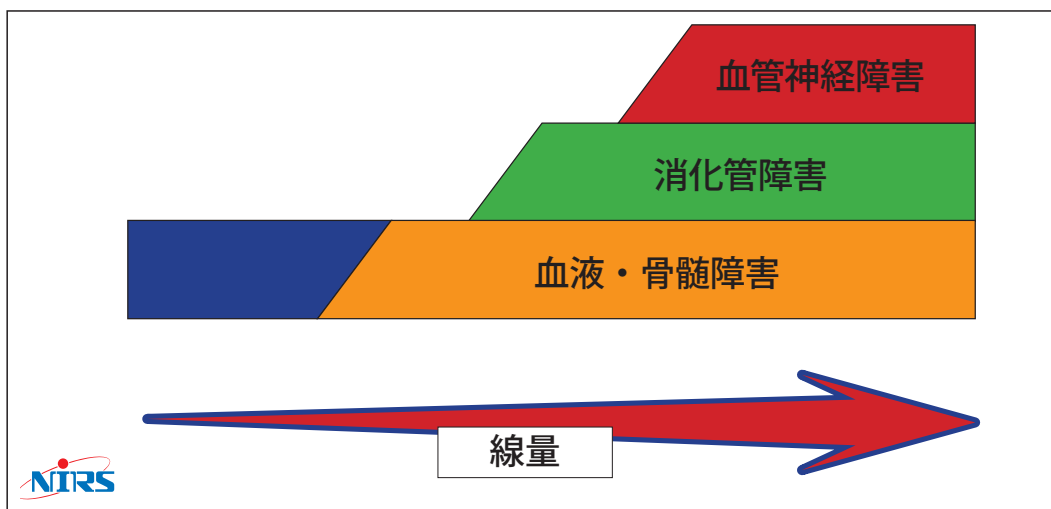


図3 急性放射線症: 被ばく線量と症状

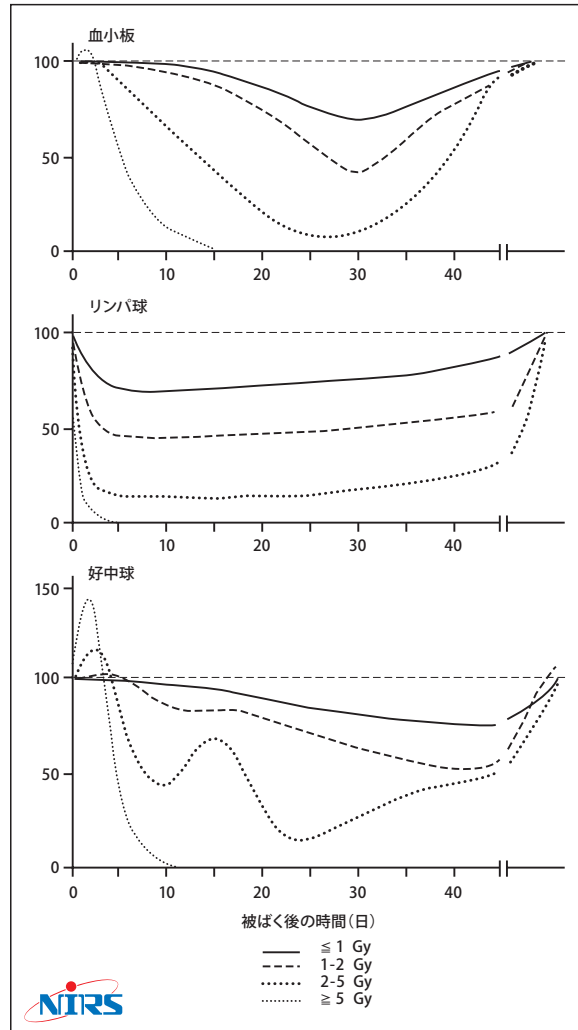


図4 血球数の変化

(出典:UNSCEAR「放射線の線源、影響及びリスク、原子放射線の影響に関する国連科学委員会総会への1988年報告書、附属書付、(放射線医学総合研究所監修)」実業広報社 1990)

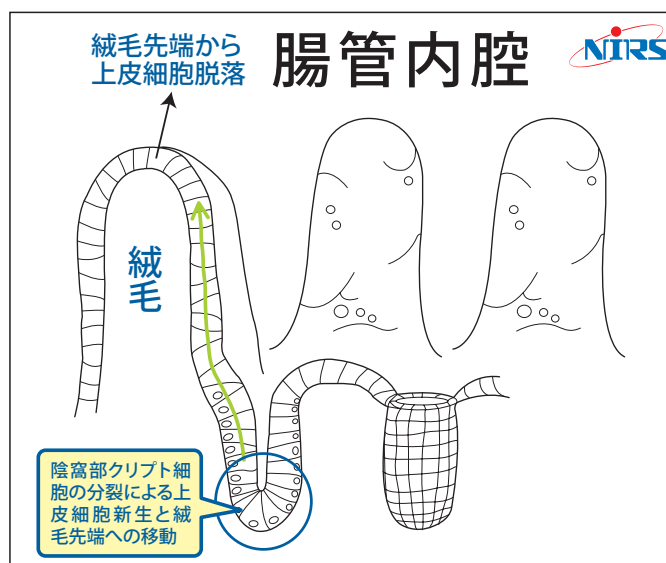


図5 腸の内部構造

(出典:UNSCEAR「放射線の線源、影響及びリスク、原子放射線の影響に関する国連科学委員会総会への1988年報告書、附属書付、(放射線医学総合研究所監修)」実業広報社 1990より改変)

表1 組織反応のしきい値

全身ガンマ線被ばく後の成人の臓器及び組織に関わる罹病の1%発生率と死亡に対する、急性吸収線量のしきい値の予測推定値

影響	臓器/組織	影響の発現時間	吸収線量 (Gy) ^{e)}
罹病:			
一時的不妊	睾丸	3 ~ 9 週間	1%発生率 ~ 0.1 ^{a,b)}
永久不妊	睾丸	3 週間	~ 6 ^{a,b)}
永久不妊	卵巢	<1 週間	~ 3 ^{a,b)}
造血系の機能低下	骨髓	3 ~ 7 日	~ 0.5 ^{a,b)}
皮膚発赤の主要期	皮膚 (広い区域)	1 ~ 4 週間	<3 ~ 6 ^{b)}
皮膚の火傷	皮膚 (広い区域)	2 ~ 3 週間	5 ~ 10 ^{b)}
一時的脱毛	皮膚	2 ~ 3 週間	~ 4 ^{b)}
白内障 (視力障害)	眼	数年	~ 1.5 ^{a,c)}
死亡:			
骨髓症候群:			
— 治療しない場合	骨髓	30 ~ 60 日	~ 1 ^{b)}
— 手厚い治療を行った場合	骨髓	30 ~ 60 日	2 ~ 3 ^{b,d)}
胃腸管症候群:			
— 治療しない場合	小腸	6 ~ 9 日	~ 6 ^{d)}
— 手厚い治療を行った場合	小腸	6 ~ 9 日	>6 ^{b,c,d)}
間質性肺炎	肺	1 ~ 7 ヶ月	6 ^{b,c,d)}

a) ICRP(1984)
 b) UNSCEAR(1988)
 c) Edwards と Lloyd(1996)
 d) Scott と Hahn(1989), Scott(1993)
 e) ほとんどの数値は四捨五入して Gy に丸められている。範囲は、皮膚については面積依存性が、骨髓については様々な補助的治療があることを示している。

(出典 :ICRP「国際放射線防護委員会の2007年勧告」 日本アイソトープ協会 2009)

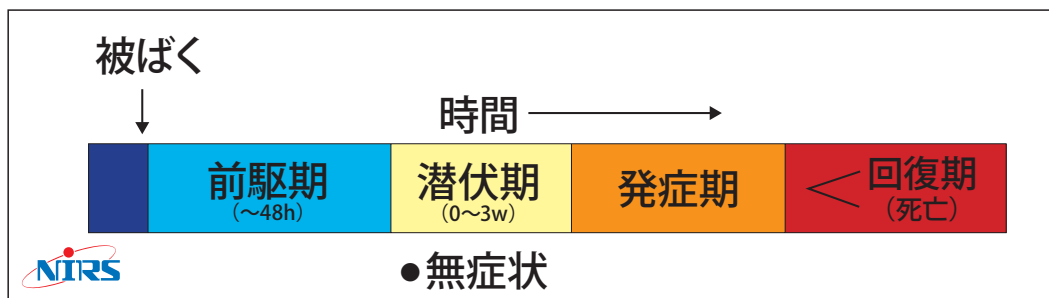


図6 急性放射線症の病期

例題

問1. 汚染を伴わない低エネルギー γ 線による外部被ばくの特徴でないのはどれか。

- a. 線源が体の外にある。
- b. 被ばく時間は、短時間のことも長時間のこともある。
- c. 被ばく線量の体内分布は、放射線のエネルギーや方向による。
- d. 周囲の医療従事者の被ばくは0である。
- e. 全身カウンタで計測すると異常値がでる。

問2. 急性放射線症でないのはどれか。

- a. 消化器障害
- b. 中枢神経障害
- c. 骨髄障害
- d. 皮膚障害
- e. 骨障害

問3. 固形がんについて放射線発がんの特徴はどれか。

- a. 確定的影響と考えられる。
- b. 発症までに数年以上の時間がかかる。
- c. 発病後放射線が原因によるものかその他の原因か組織標本で区別できる。
- d. 被ばく線量が増加すると発がん確率は減少する。
- e. 小児の感受性は成人とほぼ同じである。

例題の答えと解説

問1. の答え： e

外部被ばくとは、体外にある放射線源からでる放射線により被ばくすることで、放射線に被ばくする時間の長さで急性被ばくと慢性被ばくにわける。中性子線などによる被ばくを除けば、一般的な被ばくでは体内に放射性物質ができることはないので、その患者から二次的に被ばくすることはない。

問2. の答え： e

急性放射線症の典型的症状は、骨髄障害、消化器障害、神経血管障害であるが、皮膚や肺の障害も予後に重要な影響を及ぼす。

問3. の答え： b

放射線がんは、しきい値のない確率的影響と整理されている。小児甲状腺がんは数年から増加が見られるが、多くの固形がんは10年程度から増加する。生じたがんが放射線によるものかどうか診断する方法は現在のところない。小児の感受性は成人の2-3倍程度と考えられている。

上級者向け学習支援用教材

- ICRP: ICRP Publication 103 国際放射線防護委員会の2007年勧告, 日本アイソトープ協会、丸善、東京、日本、2009.
- Hall EJ: Radiobiology for the Radiologist, 5th Ed, Lippincott Williams&Wilkins, Philadelphia, PA, USA, 2000.
- UNSCEAR: UNSCEAR 1988 Report to the General Assembly, with Annexes; Sources, effects and risks of ionizing radiation, UNSCEAR, Vienna, Austria, 1988.
- UNSCEAR: 放射線の線源、影響及びリスク、原子放射線の影響に関する国連科学委員会総会への1988年報告書、附属書付、(放射線医学総合研究所監修) 実業広報社、東京、1990



4 放射線の医学利用

単元名	4 a . 1 放射線診断の原理・実際と有害事象
改訂コアカリ 関連記載事項	○エックス線 (X 線)、CT、MRI と核医学検査の原理を説明できる。放射線診断による有害事象 (医学教育モデル・コア・カリキュラムでは「副作用」と書かれているが、本資料では「有害事象」とする。) と障害を説明できる。 ○放射線造影法を活用した治療を概括できる。 エックス線 (単純、造影)、CT、MRI と核医学検査の読影の原理を説明できる。
一般目標	○放射線による診断に関する基本を学ぶ。
到達目標	○X 線による診断の原理を、各診断モダリティの特徴を踏まえ、概説できる。放射線診断による有害事象と障害の可能性を概説できる。
理解すべき要点	○画像診断には様々なモダリティが使用されており、電離放射線を使用しないものもある。 ○電離放射線には有害事象があり、有害事象を減らすように配慮して医療行為を行う必要がある。 ○小児は体格が小さく、放射線感受性が高いため、検査の選択と方法に配慮が必要である。
教授すべき 必須事項	○電離放射線 (造影剤) を使用する検査の有害事象の内容 ○医療被ばく低減のために配慮すべきこと。
キーワード	原理 (X 線の吸収)、各診断モダリティの特徴 (単純 X 線撮影と透視、X 線 CT、IVR)、X 線以外の画像診断 (MRI、US)、臓器系、疾患ごとの放射線診断各論、放射線診断 (造影剤を含む) による有害事象の可能性、CTDI 等の線量指標
参照 tutorial	6、8、9、10、12、14

概要

4 a . 1 . 1 画像診断に用いられる装置とそれぞれの疾患による適応について

- ・医療においては、糖尿病、本態性高血圧、精神病といった機能性の疾患を除いて、体内の状態を画像として表示する診断法が用いられる。これを画像診断と言う。画像診断においては、単純 X 線、透視、CT、MRI、超音波、核医学などが用いられる。表 1 のごとく、それぞれ特徴・適応があり、使い分けて診断を行う。画像診断機器は、放射線を使用するものと使用しないものの 2 つに分けられる。放射線を利用するのは、単純 X 線、透視、CT、核医学検査である。(4a.2 核医学については別項目)
- ・画像診断では、外部から造影剤を投与して検査を行うことがある。X 線を用いた造影検査では、ヨード造影剤、バリウム製剤を用いる。ヨードや、バリウムの放射線吸収度が非常に強いことを利用した検査法である。血管撮影や CT では、ヨード造影剤を血管注射し、血管や内臓での分布を見ることが診断を行う。熱感、嘔吐、蕁麻疹などが有害事象として出現することがある。まれではあるが、ショック状態になり死に至ることがあるので、造影剤注入時には注意する必要がある。
- ・体内の状態をもっとも精細に表示できるのは CT と MRI である。図 1 に CT 画像、T1 強調 MRI 画像、T2 強調 MRI 画像を並べた。眼球、頭蓋骨、体表面の脂肪組織を見れば、それぞれの特徴がわかる。MRI は、様々な軸方向の断面が得られ、コントラストが CT よりも良好であるが、骨、石灰化がわかりにくく、また検査に長時間を必要とし短い範囲しか撮影できないという欠点がある。体内金属のために撮影できないこともある。現在、CT の随一の禁忌は、体内植込み型の除細動器、ペースメーカーの中に、放射線照射により誤作動する製品があることであるが、他には禁忌はない。CT は、一般画像検査、救急分野での内臓・頭部検査法として欠かせないものとなっている。
- ・低線量 CT による肺癌検診が日本で普及しつつある。胸部 X 線単純撮影では見落とされていた癌の結節の検出が向上した。通常の精査用の設定で行くと被ばく量が多いため、低線量で検査を行うのが原則である。アメリカで肺癌の危険性の高い 5 万人ほどを用いた大規模試験が行われ、低線量 CT 肺検診が死亡率の低減に貢献することが判明している。(下記参考資料参照)

- ・超音波は体内の深部の状態がわかりにくく、腸管の空気で音波が遮断されるという欠点があるが、簡単に装置の移動ができ、放射線被ばくがないので、腹部内臓の検査として最初に用いられることが多い。新生児では頭蓋内の検査も可能である。

【参考資料】

The National Lung Screening Trial Research Team: Reduced Lung-Cancer Mortality with Low-Dose Computed Tomographic Screening N Engl J Med 2011; 365:395-409

4a.1.2 CTのメカニズム

- ・CTは、放射線管球と放射線検出器を向かい合わせて体軸を中心に回転し、位置と放射線吸収量のデータを取得し、体の横断像をコンピュータで計算して表示する仕組みである。単純X線写真と比べれば、体内についての情報量は桁違いに多いが、被ばく量も多い。
- ・CT装置の発達の歴史を図2に記載した。当初は1断面のみの撮影しかできず、一断面撮影し終わると、ガントリを動かして次の位置を撮影していた。体軸方向に少しずつ移動し終わってから走査していくため検査には長時間が必要であった。ヘリカル方式になり、ガントリをスキャン時に動かすことにより、多断面の撮影を短時間で行うことができるようになった。さらに、当初一列のみであった検出器を複数列配置することにより、高速撮影が行えるようになった。これがMulti-detector row CT (MDCT)である。MDCTが実用になったのは、検出器が小型化され、コンピュータの計算速度が速くなり、画像計算のアルゴリズムが向上したという要因が大きい。MDCTの発展型として256列以上の検出器を並べ、ある一定の領域を1回転ただけで撮影するコーンビームCT装置が開発され、実用化されている。検査時間が非常に短いため、時間ごとの変化を追うことができ、“四次元CT”という名称も用いられている。ただし、長時間使用すると、被ばく量が格段に増えるので、検査の Protokolには熟慮が必要である。
- ・MDCTやコーンビームCTは、一断面型のCT装置より被ばく量はやや増えたが、内臓、血管などの立体情報を容易に得ることができる。この装置の開発により、検査時間が大幅に短縮するとともに、診断精度は向上した。

4a.1.3 CTの被ばく量の測定

- ・CTは被ばく量が多いため、線量の正しい評価が必要である。CT装置の線量評価は、アクリルファントムとCT用電離箱を用いて行うのが原則である。検査時に直接被ばく量を測ることはできないので、ファントム撮影データから推定(シミュレート)した量であるComputer Tomography Dose Index(CTDI)を用いる。CTDIは単一スライスの1回転における評価である。単位はGyである。CTDIにはいくつかオプションがあり、CTDI_wはファントムの平均値である。CTDI_{vol}はヘリカルスキャンのためのギャップや重なりを補正したものである。最近のCT装置は、スキャンが終了するとCTDI_{vol}を表示するよう勧告がだされている。また、多断面のCT撮影が一般的になっていることを反映して評価の数値としてDLP(Dose Length Product)が用いられている。これは、CTDI_{vol}を体軸の長さで積算した数値である。単位はGy cmである。
- ・表2に標準的なCT装置における被ばく量の概算値についてあげる。(日本放射線学会、日本放射線技術学会、小児放射線学会:小児CTガイドライン-被ばく低減のために-放射線技術学会雑誌 Vol16,4 403-405 平成17年度より引用。)これらの数値は、2005年当時のものであり、年々被ばく量を減少させるべくCT装置の開発が行われており、被ばく量は年々減少しつつある。

【参考資料】

日本放射線技師会の作成した放射線被ばくガイドライン 2006年 <http://www.jart.jp/guideline/>

4a.1.4 CTの被ばくを低減するためには

- 人体の横断面を見ると円形ではない。頭部では前後に長い楕円形であり、胸腹部では左右に長い楕円形をしている。CTに用いる放射線は、体の厚みが薄い部分では放射線量を減らしても画質が悪化しないため、コンピュータ制御 (CT-AEC) により、体の薄い部分で線量を低減させる仕組みが一般的である。他にも、ノイズを減らしたり、各社工夫をして被ばく量の低減に努めている。被ばくを低減させるためには、なるべく新しい装置を使うことが必要である。新しい装置であるほど被ばくを低減させる工夫が織り込まれていること、新しい装置ほど高画質であり、被ばく量を減らした上で画質が向上するからである。その他、被ばくを低減させるには、他の放射線を利用した検査と同様、放射線源から離れる、防護服・衝立などで遮断する、放射線照射時間を減らす、患者・術者の被ばく量を客観的に測定ないし推定する、放射線機器の整備をきちんと行うことが必要である。
- 小児は放射線感受性が高いため、格別な配慮が必要である。小児は疾患が限られており、診断に必要な条件を考慮して検査を行う必要がある。一般的には、線量と画質は比例するが、意味もなく高精細な画像を得るために高線量を照射し、無駄な被ばくをさせることは許されない。また、成人と同じ設定で小児のCTを行えば、その小児は過大な被ばくをすることになる。日本放射線学会では、小児のCTのプロトコルについて公示しているので、検査時には確認する必要がある。また、被ばくを減少させる最大の方法は、意味のない検査を行わないことであり、特に小児においては、そもそもCTが本当に必要なかどうか十分に考慮する必要がある。
- もうひとつ問題になるのが妊娠時のCTである。1980年代まで、10 days rule という基準があり、放射線を使用した検査は月経が始まってから10日以内に行うべきとされていた。しかし、この基準は現在は科学的根拠がないことが判明し、撤回されている。2012年現在、100 mGyまでは、胎児に問題が生じるという根拠がなく、1回の腹部CTではその量に達しない。腹部CTを行った後で妊娠していることが判明し、中絶してしまう女性が少なくなかった。相談を受ける医師の責任は重大である。

【参考 URL】

小児CTガイドライン 2005年 http://nv-med.mtpro.jp/jsrt/pdf/2005/61_4/493.pdf

4a.1.5 小児の頭部CT検査の適応

- Committee on Clinical Policies and Research、American Academy of Family Physicians、Committee on Quality Improvement、American Academy of Pediatrics Commission が推奨する、外傷の既往があり、刺激に反応する状態の2歳以下の小児の頭部CTの絶対的適応は以下の通りである。以下の状況より状況が良くても、CT撮影が必要な場合があることに留意する必要がある。
 - a. 元気がない。鬱々としている。
 - b. 局所神経症状がある。(麻痺、眼球運動異常等)
 - c. 頭蓋骨骨折の兆候
 - d. 痙攣
 - e. 不穏、易刺激性
 - f. 大泉門膨隆
 - g. 5回以上あるいは6時間以上続く嘔吐
 - h. 1分以上の意識障害

- ・外傷には高エネルギー外傷と低エネルギー外傷がある。高所からの転落や自動車ではねられた場合などは、高エネルギー外傷である。高エネルギー外傷では、かなりの力が頭部、内臓に加えられた可能性があり、外表に傷や障害がはっきりしない場合でもCTなどによる精査の適応となる。小児に良く見られる床での転倒事故は低エネルギー外傷である。打ちどころが悪かったという例外はあるが、低エネルギー外傷では精査が必要のないことが多い。

【参考資料】

Schutzman SA, Barnes P, Duhaime AC, et al: Evaluation and Management of Children Younger Than Two Years Old With Apparently Minor Head Trauma. Proposed Guidelines. Pediatrics 2001; 107:5 983-993

4a.1.6 IVRとは何か、IVRにおける被ばくについて

- ・ Interventional Radiology(IVR) は、放射線診断の方法を用いた治療法である。IVR が出現する以前は、たとえば心臓の冠動脈狭窄の治療は開胸手術が必要で、患者の負担は多大であった。IVR の出現により、手足の血管からカテーテルを入れて治療をすることができるようになり、患者の負担は大幅に減少した。IVR は、CT、超音波や MRI 装置を用いることもあるが、テレビレントゲン装置を用いて透視下に行くことが多く、被ばく量が多くなりがちな手技である。検査のための CT で放射線障害が目に見える形で出現することは考えられないが、IVR では報告されている。
- ・ 特に被ばくが多いのは、透視下での心臓関連の血管内、心臓内治療である。冠動脈形成術や不整脈のアブレーションなどがあげられる。透視下での操作が長時間に及ぶため、被ばくが多くなりやすい。患者のみでなく、透視領域に手が曝露される術者の被ばくも問題になっている。紅斑の発生や脱毛の報告が少なくない。ひどい場合には潰瘍を生じる。
- ・ 障害の報告が増加するようになり、関連学会が 2004 年に障害防止のためのガイドラインを策定した。患者へのインフォームドコンセント、被ばく目標値の設定、装置の線量率の設定、皮膚障害の影響線量を超えた場合の患者への説明の 4 項目からなっている。IVR を施行する医師は熟読しておく必要がある。

【参考資料】

IVR に伴う放射線皮膚障害の防止に関するガイドライン 2004 年:

URL <http://www.fujita-hu.ac.jp/~ssuzuki/bougo/book/ivr.pdf>

参考 URL http://www.jstage.jst.go.jp/article/jjrt/64/4/473/_pdf/-char/ja/

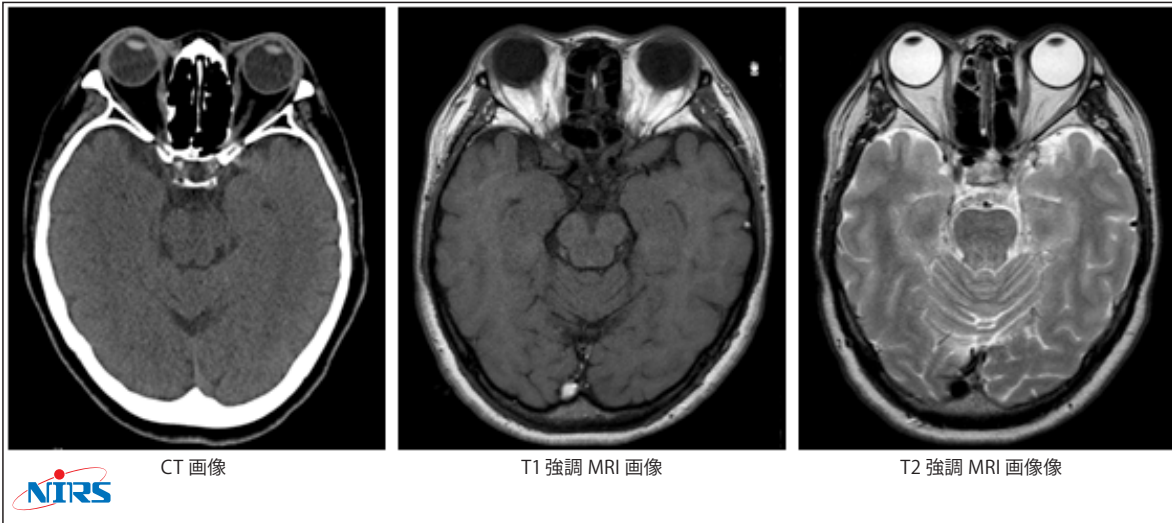


図1 CTとMRI画像の比較(頭部)

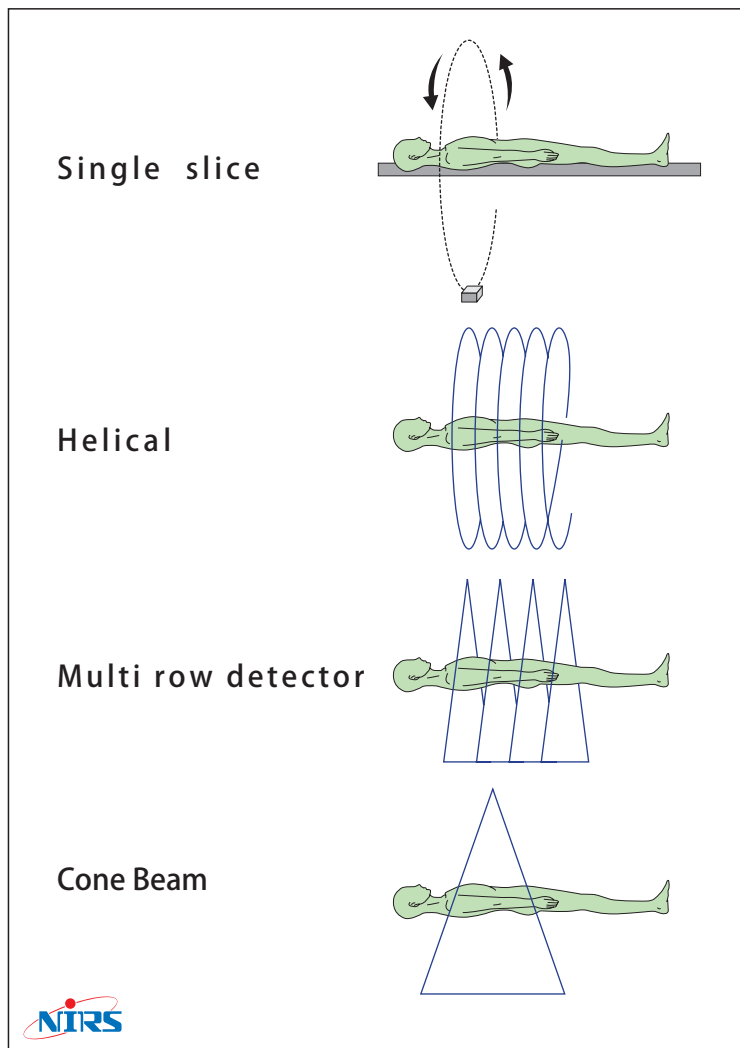


図2 CT装置の進歩の歴史

表1 画像診断の種類

	単純X線、透視	CT	MRI	超音波
原理	<ul style="list-style-type: none"> 体内を通過したX線をフィルムに写す、または検出器を用いてモニターで表示する。 	<ul style="list-style-type: none"> 体を中心にして放射線管球と検出器を回転し、撮影を行う。得られたデータからコンピュータで横断面の画像を作る。 得られるのは横断像のみ。 	<ul style="list-style-type: none"> 強い磁場環境において、水素の原子核に外部から電磁波を与えることで共振させ、共振が解ける(緩和)時に出力される電磁波を測定することで体内を画像化する検査法である。 様々な断面の画像が得られる。 	<ul style="list-style-type: none"> 高い周波数の音波を体の表面から体内に発射し、体内から跳ね返ってきた反射波を測定することにより体内の状態を知る。
設備	<ul style="list-style-type: none"> 装置は簡便であるが、放射線が外にもれないよう専用の部屋が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 放射線がもれないよう専用の部屋が必要。 計算のためのコンピュータや回転ガントリーがあるため、大きな部屋が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 電磁波がもれない部屋が必要。 超低温を保つための冷却設備や大型のマグネットがあり、大きな部屋が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 特別な部屋は必要なし。
被ばく線量	撮影では少ない。透視では様々。	多い	無し	無し
造影剤	バリウム(胃腸)。 ヨード造影剤(血管)	ヨード造影剤	Gd(ガドリニウム)製剤	マイクロバブル(微小空気)
適応部位	全身	全身	全身	全身、皮膚
欠点	<ul style="list-style-type: none"> 内臓に関して精細な情報が得られない。 	<ul style="list-style-type: none"> 脊椎など骨に囲まれた部位の画質がやや悪い。 	<ul style="list-style-type: none"> 肺など、呼吸で動く臓器は画質が悪い。 骨、石灰化の描出ができない。 検査時間が長い。 	<ul style="list-style-type: none"> 骨組織や肺、体内の奥深く、胃腸管の描出ができない。
適応疾患	<ul style="list-style-type: none"> 骨疾患の診断に有用。 造影剤を用いることにより、胃腸や血管の疾患診断にもちいる。 X線の透視下にIVRに用いる。 	<ul style="list-style-type: none"> 内臓疾患の診断には欠かせない。 IVR 	<ul style="list-style-type: none"> 軟部組織の診断には欠かせない。 特に骨で囲まれた頭部や脊椎の診断に有効である。 IVR 	<ul style="list-style-type: none"> 血管疾患 腹部臓器 皮膚腫瘍 IVR
有害事象	IVRにおける火傷、脱毛。	脳循環検査等の長時間CT検査による火傷、脱毛。	電流異常、体内金属による火傷。	診断用超音波装置では有害事象なし。

表2 各種CTにおける被ばく量

		スキャン条件						
		kV	mA	mAs	ビーム幅	ピッチファクタ	実効線量 男 [mSv]	実効線量 女 [mSv]
胸部	SSCT	120	70	70	5	1.5	1.5	1.8
小児	MDCT	120	50	50	10	1.5	2.1	2.5
胸部	SSCT	120	40	40	5	1.5	1.3	1.4
乳児	MDCT	120	30	30	10	0.8 (0.75)	3.4	3.9
腹部	SSCT	120	100	100	5	1.5	4.6	5.7
小児	MDCT	120	80	80	10	1.5	7	8.7
腹部	SSCT	120	60	60	5	1.5	2.9	4
乳児	MDCT	120	50	50	10	0.8 (0.75)	8.8	11.9

SSCT: Hispeed Advanlaga, GE. MDCT: Light Speed Qx/ I, GE

100kV撮影の際は、0.63倍する。

小児体重: 27・36kg、乳児体重: 4・5.9kg

例題

問1. 台所でドーンという音がしたので、親がかけつけると2歳の子供が床に倒れていた。高さ1mほどのテーブルから落ちたらしい。最初のうちぼんやりしていたが、まもなく普通に戻った。両親が心配になって病院に連れてきた。顔色は普通。頭に擦り傷みみたいなものがある。嘔吐なし。診察時神経学的異常なし。医師の対応として正しいのはどれか。

- a. 頭部単純 X 線撮影をする。問題なければ帰宅。
- b. 頭部 CT を行う。
- c. 頭部 MRI 撮影を行う。
- d. 帰宅させ、自宅で経過観察する。
- e. 入院させて経過観察する。

問2. 29歳の女性。車に乗っていて事故にあい車外に放りだされた。上腹部痛がある。骨折はない。意識は正常。そろそろ生理が始まる時期だが、まだ始まっていない。検査はどのような順番で行うのが妥当か。

- a. 腹部超音波検査 → 腹部 CT
- b. 腹部超音波検査 → 腹部単純 X 線検査。腹部 CT は生理が始まってから行う。
- c. 腹部超音波検査のみ行い、腹部単純 X 線検査と腹部 CT は生理が始まってから行う。
- d. 腹部単純 X 線検査 → 腹部 CT
- e. 腹部 CT のみ

問3. 3歳の小児が元気がないという主訴で、小児科外来に連れてこられた。診察すると、皮膚にあざが多数ある。やけどの痕のようにも見える。発育不良や関節の変形もある。顔付きは正常範囲。まず何を検査すべきか。

- a. 骨シンチグラフィ
- b. 全身の単純 X 線撮影
- c. 全身の CT
- d. 染色体検査
- e. 頭部の MRI

例題の答えと解説

問1.の答え： b

- Committee on Clinical Policies and Research, American Academy of Family Physicians、Committee on Quality Improvement, American Academy of Pediatrics Commission によれば、意識障害の存在と1m以上の高さからの転落はCTの適応である。高所からの転落は高エネルギー外傷にあたる。単なる転倒で、骨折などの外傷がなく、意識障害もなく、嘔吐もなく、神経学的異常がなければCTの適応ではない。この場合、帰宅後の観察事項（嘔吐、意識障害、麻痺）を十分に説明する必要がある。
- MRIは被ばくがないという意味では小児の頭部検査法としてすぐれているが、検査時間が長く鎮静が必要である。この鎮静のための麻酔で事故の発生が複数報告されており、どうしてもCTができない場合以外は好ましくない。また、MRIでは骨折がわからない。

【参考文献】

Committee on Quality Improvement, American Academy of Pediatrics. Commission on Clinical Policies and Research, American Academy of Family Physicians. Pediatrics: The management of minor closed head injury in children. 1999 Dec;104(6):1407-15.

問2.の答え： a

- ・ 緊急CTの必要がないと判断した場合は、もちろんCTを行う必要はないが、必要と判断した場合、生理(妊娠)と関係なく行う。10 days rule(放射線関連検査は、月経が始まってから10日以内に行う)という原則が1960年代、70年代に存在していたが、現在は科学的根拠がないことが判明した。
- ・ 腹部表面に裂傷のない内部損傷を疑う場合、まずは放射線被ばくのない超音波検査から行うのが原則である。単なる腹痛の場合は、単純X線撮影も意味があることがあるが、時間が惜しいので、救急の現場では単純X線ではなく腹部CTを行うことがある。

【参考文献】 Radiographics

Current Role of Emergency US in Patients with Major Trauma. RadioGraphics 2008; 28:225-244

問3.の答え： b

複数の骨折の痕跡は非虐待児の重要な根拠である。骨の変形は、先天的な疾患によることもあるが、骨格の単純X線撮影を行えば、先天的な骨格の異常なのか、虐待による過去の骨折の痕なのか判断ができる。頭蓋骨の骨折はCTが診断しやすいが、長管骨の場合は、CTでは微妙な骨折がわかりにくい。骨シンチグラフィーは非常に簡便に全身の過去の骨折が判断できるが、一般的ではない。骨シンチグラフィーで全身に骨折が疑われれば、結局、全身の単純X線検査を行うことになり、結局、余分な被ばくとなる。

【参考文献】 Radiographics

From the Archives of the AFIP. Child Abuse: Radiologic-Pathologic Correlation, RadioGraphics 2003; 23:811-845

上級者向け学習支援用教材

- ・ 大野和子, 粟井一夫, 医療放射線防護の常識・非常識 第2版, インナービジョン, 東京, 2011
- ・ 清水直樹, 上村克徳, 井上信明, 池田次郎(翻訳), トロント小児病院救急マニュアル SickKids (翻訳), メディカル・サイエンス・インターナショナル, 東京, 2010
- ・ 日本アイソトープ協会(翻訳): 国際放射線防護委員会の2007年勧告(ICRP Publication), 丸善, 東京, 2009
- ・ 草間 朋子, 辻本忠: 放射線防護の基礎 第3版, 日刊工業新聞社, 東京, 2005
- ・ 草野朋子, 放射線防護マニュアル 第2版, 日本医事新報社, 東京, 2004
- ・ 館野之男, 放射線と健康, 岩波書店, 東京, 2001
- ・ 山口彦之, 放射線と人間のからだ, 啓学出版, 東京, 1990
- ・ 吉澤康雄, 実地医家に必要な放射線防護の知識, 日経メディカル(非売品), 東京, 1990
- ・ 原子力百科事典 ATOMICA
http://www.rist.or.jp/atomica/database.php?Frame=../data/bun_index.html

単元	4 a . 2 核医学診断の原理・実際と有害事象
改訂コアカリ 関連記載事項	○核医学診断の原理を説明できる。 ○核医学診断による有害事象と被ばくを説明できる。
一般目標	○放射線による診断に関する基本を学ぶ。
到達目標	○核医学診断の原理、放射性医薬品の特徴、各モダリティの特徴、線量評価について概説できる。核医学診断による有害事象と被ばくの可能性を概説できる。
理解すべき要点	○核医学診断とエックス線を用いる画像診断との違い。 ○核医学診断による被ばくの特徴と線量評価 (MIRD 法) の原理。
教授すべき 必須事項	○核医学検査には放射性医薬品の体内投与を伴う。 ○核医学検査における被ばくは内部被ばくが主体。
キーワード	ガンマ線、ポジトロン (陽電子)、SPECT、PET、PET/CT、吸収補正、放射性医薬品、物理学的半減期、生物学的半減期、実効半減期、内部被ばく、MIRD 法
参照 tutorial	8、9、10、12

概要

4 a . 2 . 1 核医学検査の原理と特徴 (図 1)

- ・核医学検査では、放射性医薬品の生体内投与が必要。
- ・体内に分布した放射性医薬品から放出される放射線を検出して画像化する。
- ・放射性医薬品は体中を巡るので、1回の放射性医薬品の投与で全身の状態を評価できる。
- ・感度に優れた検査法であり、CT/MRI における造影剤に比べ、放射性医薬品の投与量は微量であり、薬理作用は生じない。

4 a . 2 . 2 ガンマカメライメージングとポジトロン断層法

- ・ガンマカメライメージング: ガンマカメラを用いて、ガンマ線核種で標識した放射性医薬品の動態・分布をイメージングする。平面像のプラナーイメージング (図 2) と断層像の SPECT (single-photon emission computed tomography、図 3) がある。
- ・PET (positron emission tomography、図 4): ポジトロン (陽電子) 核種で標識した放射性医薬品の動態・分布を、ポジトロンが消滅する際に放出される一対の消滅放射線を検出して、断層像を得る。
- ・PET/CT (図 5): CT と PET が並列して設置されている。CT を撮像後、引き続いて PET データ収集を行う。

4 a . 2 . 3 放射性医薬品

- ・特定の病巣や臓器に選択的に集積したり、様々な生理機能を反映する特性を持った医薬品を放射性同位元素で標識したもの。ガンマカメライメージングにはガンマ線核種で、PET にはポジトロン核種で標識した放射性医薬品が使用される。
- ・それぞれの放射性核種は固有の物理学的半減期やエネルギーを有する (表 1、表 2)。その中で、I-131 はガンマ線とともに飛程の短いベータ線 (β^-) も放出するので、核医学診断のみならず、アイソトープ内用療法 (内照射治療) にも応用される。
- ・様々な生理機能や病態を評価する放射性医薬品が応用可能で、目的に応じて放射性医薬品を選択する。投与された放射性医薬品は、その性質を反映した動態を示し、体内の放射能は、放射性核種の壊変による物理学的減少 (物理学的半減期 : T_p) と排泄による放射性医薬品の生物学的減少 (生物学的半減期 : T_b) の両者 (実効半減期 : T_{eff} 、 $1/T_{eff} = 1/T_p + 1/T_b$) により減少する。

4 a . 2.4 核医学診断における有害事象と被ばく

- ・医薬品としての投与量は微量であるために、薬理作用は生じず、有害事象の確率は極めて低い。2009年度副作用調査報告(核医学第48巻第1号29-41頁,2011年)では、1,044,677件の放射性医薬品の投与に対し、わずか12件(0.0011%)の有害事象が報告されているのみである。
- ・核医学検査における被験者の被ばくは、放射性医薬品の体内投与による内部被ばくが主体である。
- ・放射性医薬品の投与に伴う内部被ばく線量の評価はMIRD法により行われる(図6)。
- ・核医学検査による被ばく線量は検査内容によって異なるが、1回の検査の全身被ばく線量は0.5~15mSv程度とされている。
- ・PET検査の際の吸収補正やPET/CT検査においては、それぞれ外部線源、X線CTによる外部被ばくを伴う。特に、PET/CT検査におけるCTは、その目的(吸収補正のみ~高精度診断)により被ばく線量が大きく異なるために、目的に見合った撮像条件の設定が重要である。
- ・小児においては、成人に比し、放射線感受性が高いこと、その後の生存期間が長いこと等の点に鑑み、投与量の適正化に心がけ、過量投与にならないように注意が必要である。
- ・患者への誤投与や投与時の放射性医薬品の血管外漏出などは無益な被ばくにつながるため、このようなことが起こらないように細心の注意が必要である。
- ・放射性医薬品を投与された被験者を線源とする医療スタッフの外部被ばくに対しては、外部被ばく防護の三原則(時間、距離、遮蔽)を遵守する。
- ・放射性医薬品を投与された患者からの一般公衆の被ばくも考慮すべきであるが、核医学診断の場合、放射性医薬品の投与量は少なく、大部分で一般公衆の年間の線量限度(1mSv)の5分の1以下に留まるとされている。(I-131など大量の放射性核種が投与される内照射治療の場合には、「放射性医薬品を投与された患者の退出基準」が定められており、この基準を満たすまでは専用の治療病室に入院させる必要がある。)
- ・FDG-PETに関しては、「FDG投与後2時間以内は、放射線に影響を受けやすい妊娠中の女性及び10歳未満の小児との接触時間を短くし、また距離を取ることを指導する」ことが推奨されている(「FDG-PET検査における安全確保に関するガイドライン」より引用)。その他の核医学検査に関しても、同様の注意が必要と考えられる。
- ・妊娠中の女性への核医学検査は避けるのが望ましく、検査の必要性を慎重に判断すべきである。一方、妊娠に気付かずに核医学検査を受けてしまったとしても、これが原因で胎児に確定的影響(奇形・精神発育遅滞など)が起こることはない。(妊娠中絶の理由とはならない)
- ・被験者が授乳中の場合、投与された放射性医薬品によっては、一定期間の授乳制限が求められる。

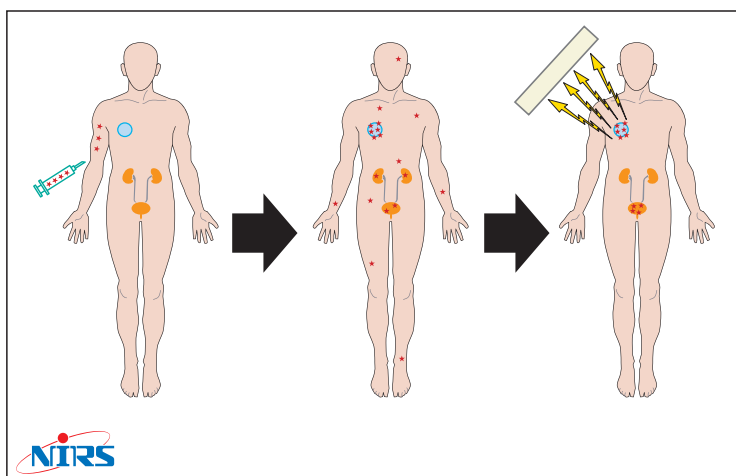


図1 核医学イメージングの流れ

1. 放射性医薬品を投与（多くは静脈内）
2. 放射性医薬品は体全体を巡り、標的臓器（病巣）に集積、それ以外は体外に排泄される
3. バックグラウンドが低下した時点で、検出器で放射性医薬品から放出される放射線を検出し、画像化する

注) したがって、イメージングに最適な時間帯は、放射性医薬品により異なる。

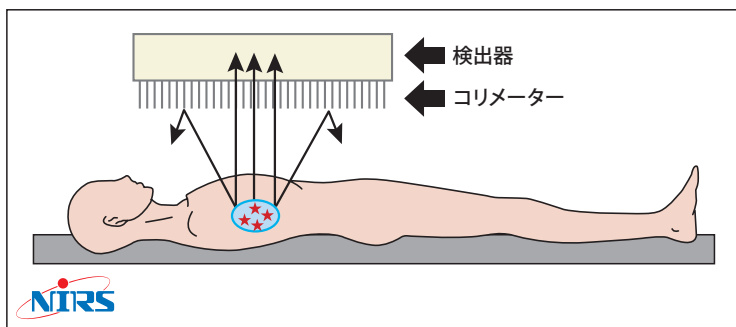


図2 プラナーイメージングの原理

プラナーイメージングでは、ガンマカメラを一方方向に固定し、体内から出てくるガンマ線を検出し平面画像を得る。ガンマ線はあらゆる方向にランダムに放出されるので、ガンマ線の飛来方向を限定するために、検出器には、コリメーターが付属しており、特定方向から入射してきたガンマ線のみを検出する。

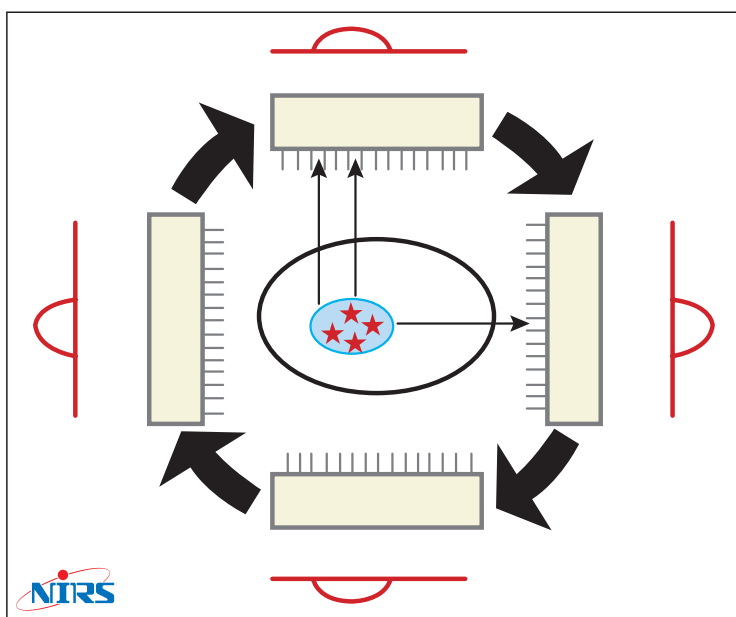


図3 SPECTの原理

SPECTでは、1つまたは複数のガンマカメラを被験者の周りに回転させることにより多方向からガンマ線を検出し、これを投影データとして、コンピューターを用いて断層画像を再構成する。

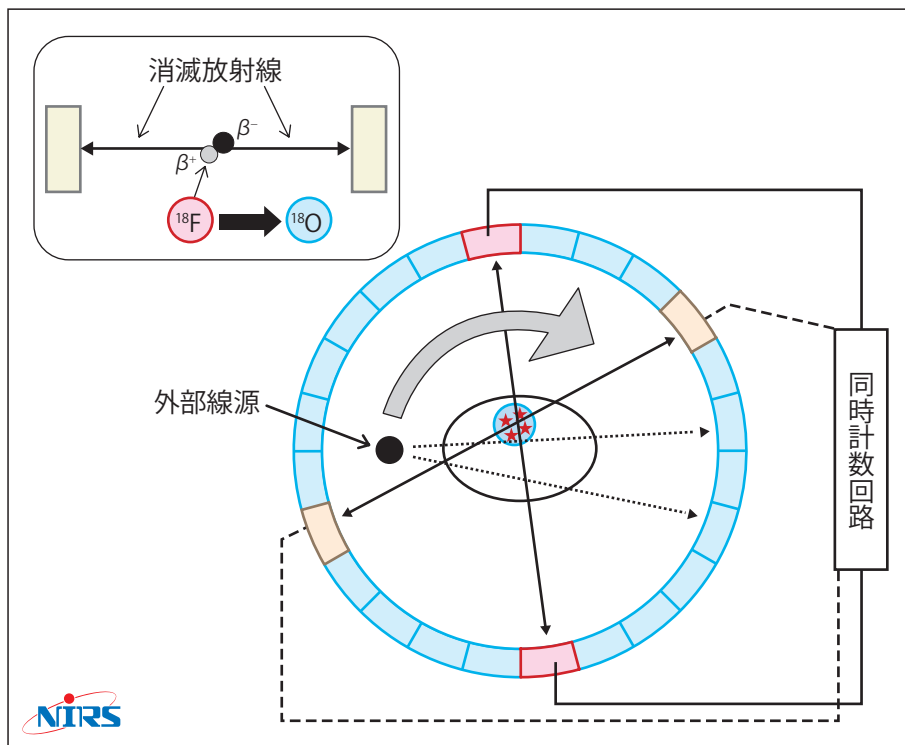


図4 PETの原理

ポジトロン核種から放出されるポジトロン（陽電子： β^+ ）はすぐに近傍の陰電子（ β^- ）と結合して消滅するが、その際にお互いに逆方向に511keVのエネルギーの一对の放射線を放出する（消滅放射線）。PETでは、被験者の周りに円形に配置した検出器でこの消滅放射線を検出するが、その際に2つの検出器で同時に計測する（同時計数）ことにより、放射線の飛来方向を限定することができる（コリメーターは不要）。また、このデータ収集（エミッションスキャン）の前または後に、外部線源を体外で回転させてデータを収集し（トランスミッションスキャン）、これを元に体内の組織による放射線の吸収の影響を補正する（吸収補正）。

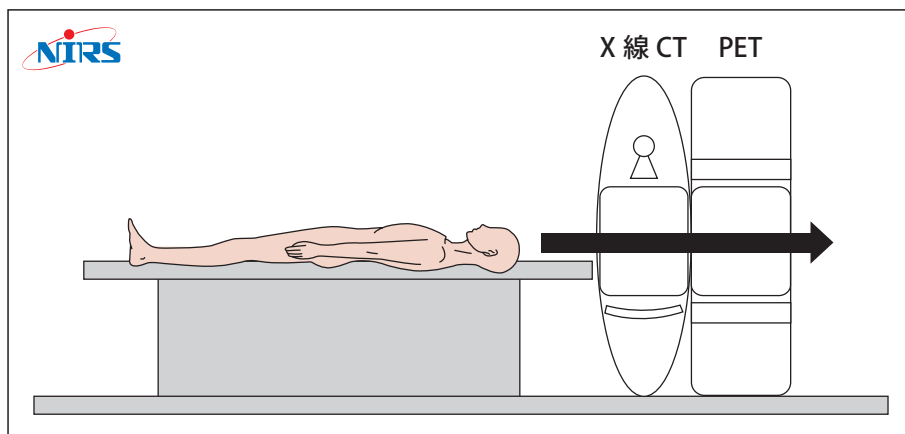


図5 PET/CT

X線CTとPETが並列して設置されている。CTを撮像後、引き続いてPETデータ収集を行う。CT画像とPET画像とのずれのない画像融合が可能であるとともに、外部線源でなくCTデータを元にした吸収補正が行われる。

表1 代表的なガンマ線核種

核種	物理学的半減期	壊変形式	主なガンマ線エネルギー (MeV)	コメント
Ga-67	3.26d	EC	0.093	
			0.185	
			0.300	
Tc-99m	6.01h	IT	0.141	
In-111	2.81d	EC	0.171	
			0.245	
I-123	13.3h	EC	0.159	
I-131	8.02d	β^-	0.364	ベータ線も放出する
Tl-201	3.04d	EC	0.135	
			0.167	

EC: 軌道電子捕獲、IT: 核異性体転移、 β^- : ベータ壊変

表2 代表的なポジトロン核種

核種	物理学的半減期 (分)	壊変形式	平均エネルギー (MeV)
C-11	20.4	β^+ , EC	0.386
N-13	9.97	β^+ , EC	0.492
O-15	2.04	β^+ , EC	0.735
F-18	109.8	β^+ , EC	0.250

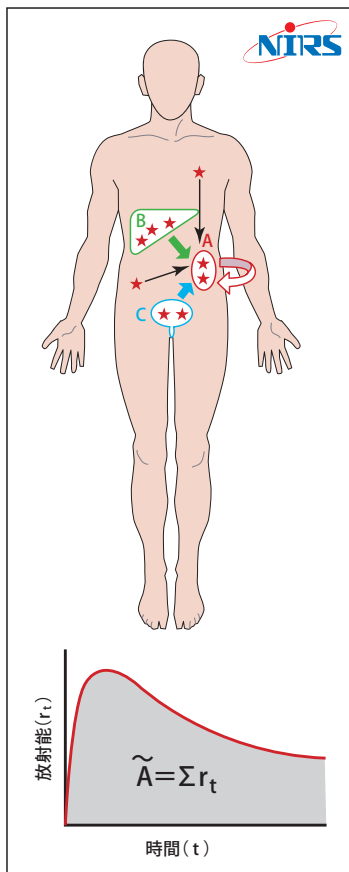


図6 MIRD法の基本的な考え方

投与された放射性医薬品による内部被ばく線量の計算は、米国核医学会 Medical Internal Radiation Dose (MIRD) Committee による MIRD 法によって行われる。

例えば、臓器 A の被ばく線量 (吸収線量) を考えるときには、臓器 A 自体に集積した累積放射能による臓器 A の被ばく (臓器 A → 臓器 A) に加え、それ以外の臓器 B、臓器 C・・・などを線源とした臓器 A の被ばく (臓器 B → 臓器 A、臓器 C → 臓器 A・・・) も考える必要がある。その際には、放射性核種から出る放射線の種類および臓器の位置関係を考慮する必要がある。このように、ターゲット臓器のみならず、その他の臓器 (全身) を線源とする被ばくを合算したものが、ある臓器の被ばく線量となる。全身の被ばく線量を考える場合にも、同様に「全身 → 全身」+「臓器 A → 全身」+「臓器 B → 全身」・・・となる。

左の曲線グラフは、時間放射能曲線である。臓器への累積放射能は、臓器に集積した放射能の経時的変化を測定し、時間放射能曲線 (time-activity curve) を作成し、その曲線下面積 (area under the curve) を求めることにより計算される。

例題

問 1. 以下の放射性核種の中から核医学診断と核医学治療（内照射治療）の双方に用いられるのはどれか。

- a. C-11 b. O-15 c. Tc-99m d. I-123 e. I-131

問 2. 核医学診断の特徴について誤っているのはどれか。

- a. 放射性医薬品の投与量は CT の造影剤に比べて少ない。
b. 至適なイメージングのタイミングは使用する放射性医薬品により異なる。
c. SPECT では、体内から出てくるガンマ線を多方向から検出して、断層画像を再構成する。
d. PET では、ポジトロンそのものではなく、ポジトロンが消滅する際に放出される 1 対の消滅放射線を検出している。
e. 放射性医薬品の投与による体内の放射能は、時間とともに物理学的半減期に従って減少していく。

問 3. 核医学診断による有害事象や被ばくについて誤っているのはどれか。

- a. 放射性医薬品の投与により有害事象の起こる確率は、CT の造影剤の場合に比べて低い。
b. 核医学診断における被ばくは内部被ばくが中心である。
c. 核医学診断における被ばく線量評価は MIRD 法を用いて行われる。
d. ある臓器の被ばく線量の推定には、他臓器に集積した放射能の影響も考慮する必要がある。
e. 核医学診断において、小児への放射性医薬品の投与量は成人への投与量と同じで良い。

例題の答えと解説

問 1. の答え： e

- ・ 核医学診断に用いられるのはガンマ線核種とポジトロン核種、核医学治療に用いられるのは、ベータ線やアルファ線核種である。
- ・ C-11 と O-15 はポジトロン核種、Tc-99m と I-123 はガンマ線核種で、それぞれ PET、ガンマカメライメージングに利用される。
- ・ I-131 はガンマ線とベータ線を放出し、核医学診断と核医学治療（内照射治療）の双方に利用できる。

問 2. の答え： e

- a. CT で使われるヨード造影剤に比べて核医学診断における放射性医薬品の投与量は少なく、薬理作用は生じない。
b. 放射性医薬品の動態は使用する放射性医薬品ごとに異なっており、それぞれ至適なイメージングの時期は異なる。
c. SPECT では、1 つまたは複数のガンマカメラを被験者の周りを回転させ、多方向からガンマ線を検出し、これを投影データとして、コンピューターを用いて断層画像を再構成する。
d. PET では、ポジトロンが消滅する際に逆方向に放出される 1 対の消滅放射線を同時計測することによって、断層像を再構成している。
e. 体内に投与された放射性医薬品による放射能は、放射性核種の物理学的半減期と放射性医薬品の排泄による生物学的半減期の双方が加味された実効半減期に従って減少していく。

問3.の答え： e

- a. 放射性医薬品の投与量は非常に微量であり、有害事象の頻度は非常に低い。
- b. 体内に投与された放射性医薬品から放出される放射線による内部被ばくが主体である。ただし、PET や PET/CT では、それぞれ外部線源を用いたトランスミッションスキャンや CT 撮像の際に外部被ばくも起こる。
- c. 投与された放射性医薬品による内部被ばく線量の評価は、米国核医学会 Medical Internal Radiation Dose (MIRD) Committee による MIRD 法によって行われる。
- d. 他臓器に集積した放射能を線源とする被ばくも考慮する必要がある。
- e. 小児は、成人に比し、放射線感受性が高いこと、その後の生存期間が長いことなどの特殊性があり、投与量の適正化に心がけ、過量投与にならないように注意が必要である。

上級者向け学習支援用教材

参考書：

- ・最新臨床核医学 (久田欣一・監修、利波紀久、久保敦司・編著)、金原出版、東京、1999
- ・久保敦司、木下文雄：核医学ノート、金原出版、東京、2009

ガイドラインや Q&A など (日本核医学会ホームページにて参照・ダウンロード可能)：

- ・放射性医薬品の適正使用におけるガイドラインの作成
- ・核医学リスクマネジメント指針 (核医学診療事故防止指針)
- ・核医学検査 Q & A、看護スタッフのための核医学 Q & A、PET 検査 Q & A
- ・FDG-PET 検査における安全確保に関するガイドライン
- ・放射性医薬品を投与された患者の退出について (平成 10 年 6 月 30 日、平成 22 年 11 月 8 日)

単元名	4b.1 放射線治療の原理・実際と有害事象
改訂コアカリ 関連記載事項	○放射線治療の原理を説明し、主な放射線治療法を列挙できる。 ○放射線治療による有害事象と障害を説明できる。
一般目標	○放射線治療の基本的概要と適応を学ぶ。
到達目標	○放射線治療の原理と必要な管理、各種治療法（外部照射、小線源治療、内用療法）の概要と適応を概説できる。放射線治療による早期・晩期の有害事象の可能性を概説できる。
理解すべき要点	○放射線治療による被ばくと必要な管理 ○各種照射法のベネフィット、リスクとその兼ね合い ○全身的、各臓器への影響
教授すべき 必須事項	○放射線治療の適応に当たってはベネフィットとリスクの十分な検討が必要である。 ○放射性治療における放射線量と精度管理の重要性。
キーワード	吸収線量、光子線、粒子線、外部照射、IMRT、定位照射、小線源治療、内用療法、放射線肺炎、放射線皮膚炎、放射線粘膜炎
参照 tutorial	8、9、11、12

概要

4b.1.1 放射線治療とは

- 放射線を使って病気、主にがんを治療する方法。放射線が体内での励起と電離作用により DNA などに損傷を与えることを利用している。放射線による DNA などの生体物質損傷の度合いは、組織・臓器によって異なっている。生体組織の DNA などによる損傷の度合いを放射線感受性と言う。がんは一般に正常組織より放射線感受性が高く、その性質を治療に利用している。従って、放射線治療が成立するには、がんと同時に放射線照射を受ける正常組織の耐容線量が腫瘍治癒線量（がん細胞が死ぬ線量）よりも高い必要がある（表 1）。正常組織の損傷を減らす目的で、少ない線量を分けて照射する分割照射が行われる。それにより、がんは損傷が重なって死滅していくが、正常組織は損傷を修復して回復することができる。

4b.1.2 放射線治療効果に影響する因子

- 放射線による DNA 損傷は、化学物質により修飾される。抗がん剤は放射線増感剤であることが多く、放射線と同時に化学療法を用いる化学放射線療法が、放射線療法単独では制御困難な進行がんなどに使われる理由である。反面、正常組織の放射線感受性を高めて有害事象が出やすくなることもあり、施行にあたっては注意が必要である。43 度程度の熱を腫瘍に与える温熱療法にも放射線増感効果がある。
- がんの種類により、放射線感受性は異なる。また、放射線の種類により、組織や臓器に与える影響が異なる。重粒子線などの高 LET 放射線（2.2 放射線等の基礎 放射線の性質の項参照）は、エックス線などの低 LET 放射線と比較して、放射線抵抗性と言われるような腫瘍にも効果が高いが、適切に用いることが重要である。

4b.1.3 放射線治療の線量

- 単位は吸収線量 Gy（グレイ）：単位質量あたりに吸収した放射線のエネルギー量（2.2 放射線等の基礎 線量測定量の項参照）を用いる。放射線治療では、総線量 50~70Gy などの、もし全身に照射されれば致死的となるような線量を病巣部に照射する（3.2 放射線の健康影響の項参照）が、病巣部への部分照射であるので、影響は全く異なる（図 1）。

- ・がんは性質上、正常組織と明確に境されていないため、周囲正常組織の放射線による有害反応の可能性を常に考慮して、放射線治療の適応、必要な照射範囲と線量、照射の方法などを吟味する必要がある。線量や照射部位の精度が極めて重要で、医学物理士のような放射線治療の物理的な品質保証・品質管理 (QA/QC) の専門家の関与が不可欠である。

4b.1.4 各種照射法の特徴

4b.1.4.1 外部照射

- ・光子線 (ガンマ線やエックス線)、電子線、粒子線 (陽子、重イオン線) などの放射線を体外から照射する方法。通常のエックス線外部照射では、リニアック (医療用直線加速器) を使い1回 1.8~2.0 Gy を週 5 回の 5~7 週間で 50~70Gy 程度照射する分割照射を用いる。小さな病巣に位置を定めて1回から数回で大線量を照射する方法を定位照射と言い、照射の精度管理が特に重要である。強度変調放射線治療 (IMRT) は病巣部に線量を集中させるための照射技法の一つである。

4b.1.4.2 小線源治療

- ・放射線の発生源である密封小線源 (放射性同位元素) を組織内刺入や体腔内挿入して、照射する方法。一時挿入線源を体内に挿入中は、管理区域内の照射室あるいは放射線治療病室での隔離が必要である。ヨウ素 125 などの体外への線量が少ない核種は、永久刺入線源として用いられる。患者に挿入された永久刺入線源は一定の基準線量 (退出基準) 以下になれば患者と共に管理区域外に出ることができる。

4b.1.4.3 内用療法

- ・放射性医薬品 (病巣部に親和性のある放射性同位元素あるいはその化合物) を静脈あるいは経口投与し、粒子線 (主に β 線) で体内から照射する方法。病巣の部位や個数にかかわらず治療できる利点がある。体内から放射線が出るため、密封小線源同様の管理が必要である。

4b.1.5 放射線治療による被ばくとその影響

- ・放射線治療は、適切に行えば有害事象が多い治療ではないが、常に正常組織の耐容線量を考えて治療の計画を立てる必要がある。また、治療中から治療後も治療効果と共に有害事象の観察が必要である (図 2、3、表 2)。

4b.1.5.1 急性有害事象

- ・照射範囲が広いなどの場合、全身倦怠感や悪心嘔吐、骨髄抑制など全身的な影響が起こることがあるが、基本的には照射部位に生じる。皮膚線量が高い場合は皮膚炎・脱毛、口腔・咽頭・消化管などの粘膜炎、唾液腺に照射されると唾液分泌障害、肺では放射線肺炎、骨盤では膀胱炎などが起こりうる。

4b.1.5.2 晩期有害事象

- ・微小血管障害による栄養障害に起因して組織の線維化、壊死などが起こり、病態としては肺線維症、腸閉塞、出血性膀胱炎、直腸潰瘍、脊髄神経麻痺などがある (図 4、5)。小児では成長障害が生じることがある。ごく稀に潜伏期間 15-20 年後放射線治療による 2 次発がんが起こる。

図表

表1 正常組織の耐容線量

臓器	TD5/5 容積			TD50/5 容積			指標にした合併症
	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3	
腎臓	50	30	23	-	40	28	慢性腎炎
脳	60	50	45	75	65	60	壊死、梗塞
脳幹	60	53	50	-	-	65	壊死、梗塞
脊髄	5cm:50	10cm:50	20cm:47	5cm:70	10cm:70	20cm:-	麻痺、壊死
肺	45	30	17.5	65	40	24.5	肺炎
心臓	60	45	40	70	55	50	心嚢炎
食道	60	58	55	72	70	68	穿孔
胃	60	55	50	70	67	65	潰瘍、穿孔
小腸	50	-	40	60	-	55	閉塞、穿孔
大腸	55	-	45	65	-	55	閉塞、穿孔
直腸		容量 :100cm ³	60		容量 :100cm ³	80	重篤な直腸炎
肝臓	50	35	30	55	45	40	肝不全

TD5/5:5年後に5%の確立で合併症が生じる線量(1回2Gyを基準)

TD50/5:5年後に50%の確立で合併症が生じる線量(1回2Gyを基準)

(出典: Emami B, Lyman J, Brown A. A. et al: Int J Radiat Oncol Biol Phys 1991: 21: 109-122)

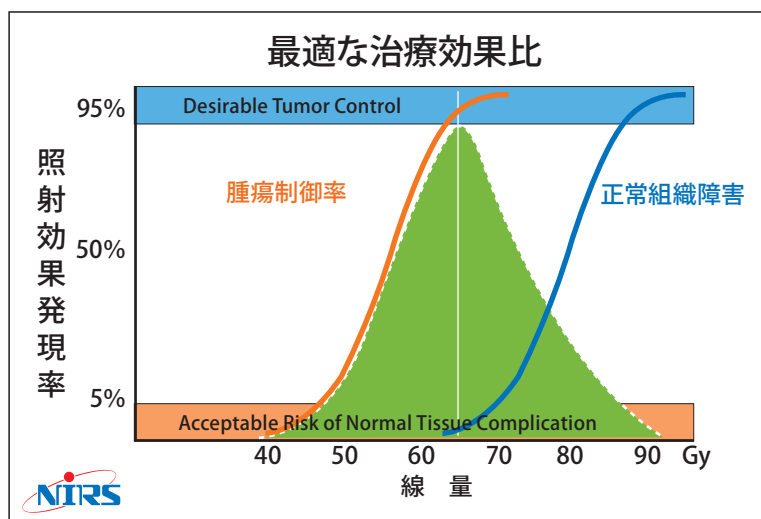


図1 放射線治療による線量効果曲線

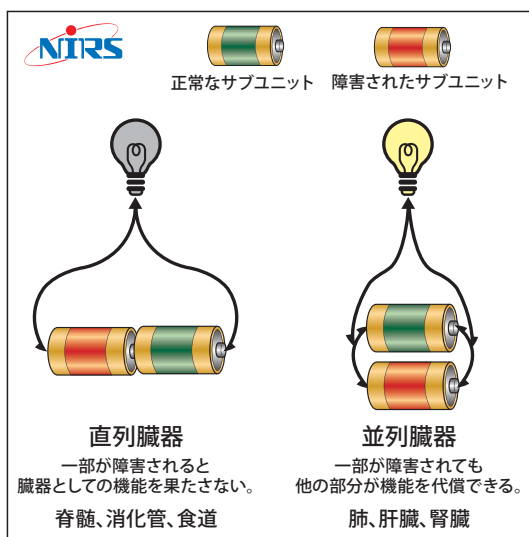


図2 直列臓器と並列臓器

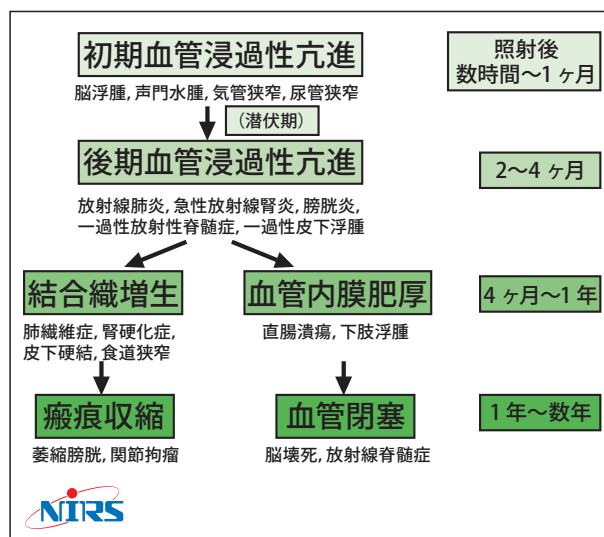


図3 放射線療法の影響

(図2、3、表2の出典:三橋紀夫;正常組織正常組織の有害事象、図3、4、表4、「がん放射線療法」、篠原出版新社、2010より改変)

表 2 放射線治療の急性ならびに後期有害事象

臓器	早期有害事象	後期有害事象
造血器	形成不全、汎血球減少	脂肪髄、骨髄線維症、白血病
皮膚	紅斑、脱毛、水泡、びらん、潰瘍、色素沈着、色素脱出、毛細血管拡張、脱毛	色素沈着、色素脱出、毛細血管拡張、脱毛、萎縮、瘢痕、潰瘍
口腔粘膜	充血、浮腫、びらん、白苔、潰瘍	線維化、瘢痕、潰瘍
眼球	流涙、涙分泌減少、眼球乾燥	白内障、網膜症、角膜潰瘍
唾液腺	アマラーゼ上昇、粘調唾液、口内乾燥	口内乾燥症、味覚障害、う歯、線維化
肺	肺炎	肺線維症
心臓		心外膜炎、心嚢液貯留
食道	食道炎	食道潰瘍、穿孔
腸管	下痢	潰瘍、狭窄、腸閉塞、直腸・膀胱・膣瘻
腎臓	腎炎	萎縮腎（腎硬化症）、悪性高血圧
膀胱	膀胱炎、頻尿	萎縮膀胱、頻尿
脳・脊髄	脳浮腫、脳圧亢進	脳壊死、脊髄症、末梢神経
筋肉・軟部	浮腫	硬結（線維化）、循環障害（リンパ浮腫）
骨	成長停止	骨壊死、成長障害

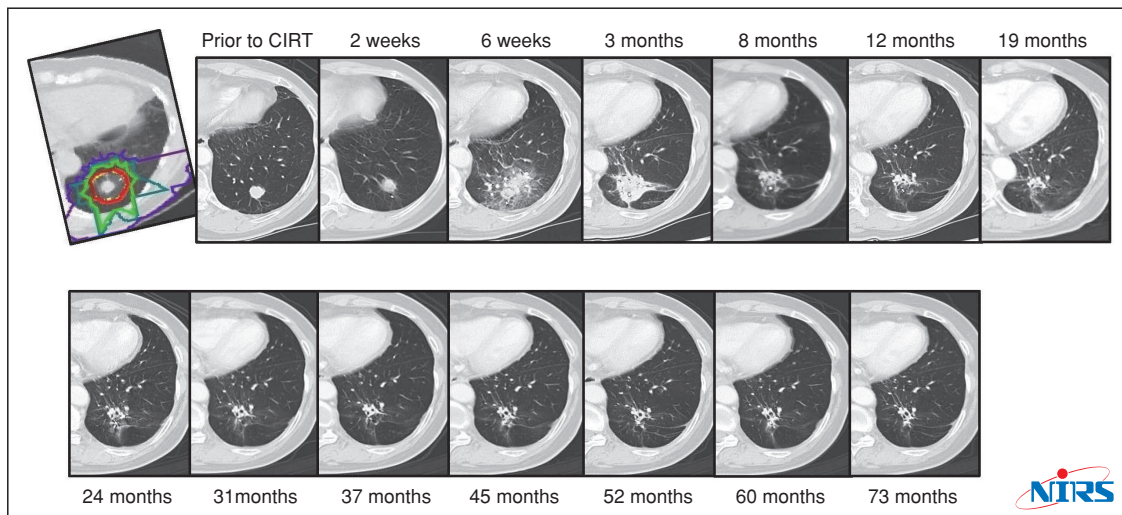


図 4 肺癌の治療に伴う放射線肺炎

照射後 6 週では放射線肺炎が生じているが、2 年後には腫瘍は消失し 5 年後も肺の線維化を残すのみである。

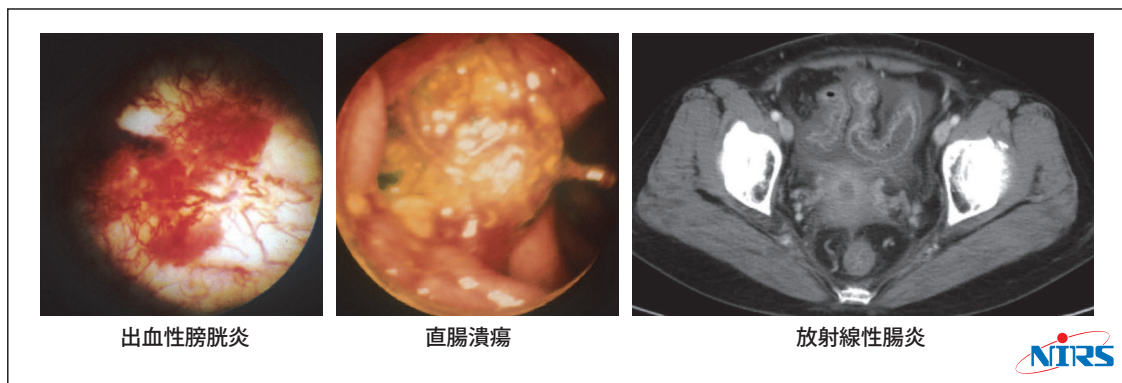


図 5 子宮頸癌放射線治療後の晩期有害事象

例題

問1. 放射線耐容線量が最も低い臓器はどれか。

- a. 食道 b. 腎臓 c. 肝臓 d. 心臓 e. 脳

問2. 放射線療法単独で根治できることが多い癌はどれか。

- a. III期肺癌 b. III期前立腺癌 c. I期乳癌 d. I期胃癌 e. I期喉頭癌

問3. 放射線治療が原則禁忌である合併症はどれか。

- a. 全身性エリテマトーデス b. 心筋梗塞 c. 脂肪肝 d. 脳出血 e. 糖尿病

例題の答えと解説

問1. の答え： b

表1を参照するとわかるように腎臓が最も弱い。脳、心臓などは比較的耐容線量が高い臓器である。
キーワード：放射線感受性、放射線耐容線量

問2. の答え： e

進行期肺癌では放射線療法単独での治癒率は低く、化学放射線療法が標準である。限局期前立腺癌に対しては、外部照射、あるいはヨードシードなどによる小線源治療が一般的で、治癒率も高いが、III期では転移が多く内分泌療法を併用することで、治癒率が上がる。早期乳癌に対しては乳房温存手術と術後の乳房照射が一般的な治療法で、薬物療法も追加される。胃癌は、手術が基本で、放射線療法は一般的に主治療とはならない。早期喉頭癌では声を温存できる放射線療法が第一選択であり、治癒率も高い。

キーワード：放射線療法、肺癌、喉頭癌、前立腺癌、乳癌、胃癌

問3. の答え： a

正常組織の放射線耐容線量が減少するような結合組織疾患では有害事象が出やすく、全身性エリテマトーデスでは、晩期の線維化、壊死などが起こりやすい。糖尿病もコントロール不良な状態が長年続いて壊疽が出ているような場合は考慮しなければならないことがある。

キーワード：放射線療法、禁忌

上級者向け学習支援用教材

- ・大西洋、唐澤久美子、唐澤克之 編集 がん放射線療法 2010 篠原出版新社 東京 2010
- ・大西洋、唐澤久美子、唐澤克之 編集 がん放射線療法 2010 別冊 篠原出版新社 東京 2010



5 放射線のリスクと防護

単元名	5.1 放射線のリスク管理
改訂コアカリ 関連記載事項	○放射線防護と安全管理を説明できる。
一般目標	○放射線防護の基本的概念を学び、関連法令の安全管理との関係を理解する。
到達目標	○放射線防護と安全管理を説明できる。
理解すべき要点	○放射線防護の基本的目標 ○放射線防護の基本的原則、特に最適化、診断参考レベル ○診療用放射線について受ける規制の概要
教授すべき 必須事項	○確定的影響の防止と確率的影響のリスクの制限 ○正当化、最適化、線量限度 ○被ばくのカテゴリー：職業被ばく、医療被ばく、公衆被ばく ○医療法施行規則、放射線障害防止法、電離放射線障害防止規則
キーワード	放射線防護、安全管理に関する概念、リスクの考え方（行為の正当化、メリット・デメリットの考慮）、3種類の被ばく、防護の最適化、法令
参照 tutorial	13、14、15、16
概要	<p>5.1.1 放射線防護の目的 (表1)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・国際放射線防護委員会 (ICRP:International Commission on Radiological Protection) の勧告によれば、放射線被ばくの原因となる有益な活動を、過度に制限することなく、放射線被ばくの有害な影響を適切なレベルに制限することであるとしている。 ・より具体的には、被ばくを管理することにより、確定的影響を防止し、確率的影響のリスクを合理的に達成できる程度に減少させることである。 <p>5.1.2 放射線防護の基本原則 (表2)</p> <p>5.1.2.1 正当化：害よりも便益を大きくすべき</p> <ul style="list-style-type: none"> ・医療における被ばくは意図的なものであるため、正当化の重要性が指摘される。 ・医学における放射線利用の正当化は3つのレベルで考えられる。 <ol style="list-style-type: none"> (1) 医学利用：医学において放射線を利用することは、損害よりも便益が大きく受け容れられており、この正当化については現在当然のことと考えられている。 (2) 特定の目的をもつ特定の手法：例えば、がんの早期診断のPET (^{18}F-FDG) を考えると理解しやすい。この正当化は、関連する国際機関と連携して、国の当局や職業団体が扱う課題である。 (3) 個々の患者への適用：個々の患者について、被ばくの目的を考慮し、あらかじめ正当化される必要がある。 <p>5.1.2.2 最適化：被ばくする可能性、被ばくする人数、線量の大きさは、経済的及び社会的要因を考慮して、合理的に達成できる限り低く保たれるべき</p> <ul style="list-style-type: none"> ・合理的に達成できる限り低くは、as low as reasonably achievable の頭文字を取って ALARA(アララ) の原則とも言われる。 ・治療は病巣に線量を与えること、つまり照射自体が目的となるが、診断は情報を得ることが目的であり、照射自体は目的ではない。各検査について標準的な患者の線量、放射性薬剤の投与量など容易に測定できる量として、診断参考レベルが使用される。診断参考レベルは、線量や投与量が異常に高い状況を確認するための手段であり、超える状況がある場合、最適化が十分されているかを検討する。

5.1.2.3 線量限度：定められた線量限度を超えない

- ・患者の線量が正当化されているという前提のもと、医療被ばくに線量限度を適用することは適切ではない。この理由は、線量限度があると、必要な診断情報が得られなかったり、すべての治療が行えなくなるためである。また、医療被ばくの便益と損害は同一の患者にもたらされ、不公平はない。

5.1.3 被ばくのカテゴリー

5.1.3.1 職業被ばく

- ・医療関係者としての被ばくは職業被ばくであり、適用される防護概念は、他の職業被ばくのものとは基本的に変わりはない。しかし、医療関係者の個人被ばく線量の実態は、非破壊検査分野と並んで平均線量が高い(表3)。なかでも、20mSv/年を超えている人数が医療分野では多く、不均等被ばくもある。

5.1.3.2 医療被ばく

- ・患者としての被ばく以外に、介助者と介護者、生物医学研究志願者の被ばくも医療被ばくに含まれる。

5.1.3.3 公衆被ばく

- ・職業被ばくと医療被ばく以外のすべての被ばくが公衆被ばくである。

5.1.4 関係法令

- ・診療放射線の利用にあたって基本となる法令は医療法施行規則(厚生労働省、最終改正：平成24年1月30日)で、第4章「診療放射線の防護」(第24条から第30条の27)が関連部分である。届出、エックス線装置等の防護、エックス線診療室等の構造設備、管理者の義務、限度についての規程がある(表4)。
- ・医療法で届出を必要とする放射線機器は7種類あるが、このうち、加速器と密封線源である4種類については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^{*}(文部科学省、最終改正：平成22年5月10日)の適用も受けることに注意が必要である。^(^{*}放射線障害防止法)
- ・限度については、放射線施設関連の場所と放射線診療従事者の被ばくについての規程がある。場所については、空間線量率や空気中放射性物質濃度、排気・排水中の放射性物質濃度などについて定められている。放射線診療従事者の線量限度は5.3職業被ばくの項で詳述する。
- ・さらに、労働安全衛生の観点から電離放射線障害防止規則(厚生労働省、最終改正：平成23年12月22日)の規制を受けることにも注意が必要である。

表1 放射線影響の分類と放射線防護の目的

影響の種類	しきい線量	線量の増大	目的
確定的影響	あり	症状が重篤化	防止
確率的影響	ないと仮定	発生頻度が増加	リスクを制限

表2 放射線防護の基本原則

正当化	<ul style="list-style-type: none"> ・損害よりも便益が大きいことを確認 ・3つのレベルの正当化： ①医学利用、②特定の手法、③個々の患者への適用
最適化	<ul style="list-style-type: none"> ・線量の大きさは合理的に達成できる限り低く保たれるべき ・診断参考レベルの活用：超えたら最適化の確認
線量限度	<ul style="list-style-type: none"> ・医療被ばくに線量限度は適用されない

表3 2010年度 業種別の実効線量の分布(人数)

年実効線量 (mSv)	一般医療	歯科医療	動物医	一般工業	非破壊	研究教育	合計
平均線量 (mSv)	0.43	0.05	0.04	0.05	0.43	0.02	0.29
検出限界未満	202,304	16,123	10,438	67,116	2,616	69,880	368,477
0.10～1.00	61,066	669	594	2,892	1,001	2,301	68,523
1.01～5.00	24,435	150	96	696	396	395	26,168
5.01～10.00	3,467	10	7	82	55	35	3,656
10.01～15.00	819	3	1	14	5	3	845
15.01～20.00	321	0	1	0	3	1	326
20.01～25.00	158	0	0	1	1	0	160
25.01～50.00	162	1	0	1	0	0	164
50.00 超過	29	2	0	1	0	0	32
合計	292,761	16,958	11,137	70,803	4,077	72,615	468,351

(出典：個人線量測定協議会「H22年度統計資料」より改変)

表4 医療機関における診療用放射線

医療法施行規則で届出を要するもの	障害防止法の適用
エックス線装置	-
診療用高エネルギー放射線発生装置	○
診療用放射線照射装置	○
診療用放射線照射器具	○
放射性同位元素装備診療機器	○
診療用放射性同位元素	-
陽電子断層撮影診療用放射性同位元素	-

例題

問1. 次の放射線防護の基本原則に関して、誤っているのはどれか。

- a. 正当化の原則では、放射線利用に伴う便益が損害よりも大きいことを確認する。
- b. 放射線の医学利用について、3つのレベルの正当化がある。
- c. 最適化の原則により、被ばく線量は合理的に達成できる限り低く保つ。
- d. 診断における最適化のためやすとして、診断参考レベルが用いられる。
- e. 放射線診療従事者の被ばくには、線量限度は適用されない。

問2. 次の放射線診療従事者の被ばく実態に関して、正しいのはどれか。

- a. 放射線業務に就いている人数は、研究教育分野が最も多い。
- b. 放射線診療従事者の平均被ばく線量は、非破壊検査分野と並んで高い。
- c. 医療分野の平均被ばく線量は高いものの、工業分野や研究分野の5倍程度である。
- d. 2010年度の統計によれば、年間50mSvの線量限度を超えているのは医療分野のみである。
- e. 年間20mSvを超えて被ばくしている人の割合は、どの分野も同程度である。

問3. 次の診療放射線に係わる規制に関して、正しいのはどれか。

- a. 主として関連する法令は、医療法施行規則、放射線障害防止法の2つである。
- b. 医療法施行規則第4章では、届出、エックス線装置等の防護、エックス線診療室等の構造設備、管理者の義務、限度の項目の規定がある。
- c. エックス線装置、診療用放射線照射装置および診療用放射性同位元素は、医療法施行規則のみの規制を受ける。
- d. 場所に係る限度は、放射線診療従事者を防護する観点から定められている。
- e. 電離放射線障害防止規則は労働安全衛生の観点から労働者の安全について規定している法令のため、医療法施行規則に規定されている管理区域に係る外部放射線の線量といった場所に係る規定はない。

例題の答えと解説

問1. の答え： e

放射線診療従事者の被ばくは職業被ばくであり、線量限度は適用される。線量限度が適用されないのは医療被ばくであり、患者としての被ばくの他、介助者と介護者、生物医学研究志願者の被ばくも医療被ばくに含まれる。

キーワード：正当化、最適化、線量限度、職業被ばく、医療被ばく

問2. の答え： b

医療分野が放射線業務従事者全体に占める割合は、2010年度で68.5%であった。一人あたりの年平均線量は0.43mSvとなっており、放射線診療従事者の職業被ばくは全体として高いレベルにあると言える。研究分野、一般工業分野の平均線量に比べて10倍以上高い。5年100mSvの線量限度の年平均である年20mSvを超える割合、1年間の線量限度である50mSvを超える割合ともに医療分野が最も大きい。

キーワード：業種別実効線量の分布、線量限度

問3.の答え： b

診療放射線に係る主な法令は、医療法施行規則、放射線障害防止法および電離放射線障害防止規則の3つである。医療法施行規則では第4章が診療放射線関連の規定で、届出、エックス線装置等の防護、エックス線診療室等の構造設備、管理者の義務、限度の項目について規定がある。届出が必要な7種類の放射線機器のうち、診療用高エネルギー放射線発生装置、診療用放射線照射装置、診療用放射線照射器具、放射性同位元素装備診療機器については放射線障害防止法の規制も受ける。場所に係る限度には、排気・排水中の放射性物質濃度の規定もあり、これらは周辺公衆の防護の観点からの規定である。電離放射線障害防止規則にも、管理区域や事業所境界などに係る場所についての規定がある。

キーワード：医療法施行規則、放射線障害防止法、電離放射線障害防止規則

上級者向け学習支援用教材

- ・ 国際放射線防護委員会の2007年勧告 (ICRP publication 103)、社団法人日本アイソトープ協会
- ・ ICRP; Radiological Protection in Medicine, (ICRP publication 105) .

単元名	5.2 公衆被ばく
改訂コアカリ 関連記載事項	○放射線防護と安全管理を説明できる。
一般目標	○公衆被ばくの放射線防護の必要性について理解する。
到達目標	○公衆被ばく限度の考え方について概説できる。
理解すべき要点	○公衆被ばくの管理の必要性と基本的考え方 ○公衆被ばくの限度
教授すべき 必須事項	○公衆被ばくの線量評価の対象は、決定グループ、代表的個人 ○公衆の線量限度は年あたり 1mSv
キーワード	公衆被ばく、決定グループ、代表的個人、線量限度の必要性、個人関連、線源関連
参照 tutorial	4、12、13、14

概要

5.2.1 公衆被ばく

- ・ 公衆被ばくには、職業被ばくと医療被ばく以外のすべての公衆の被ばくが含まれる。
- ・ 自然放射線源からの被ばくも公衆被ばくである。かなり以前には、自然放射線による被ばくは放射線防護の対象外という考え方が取られていたが、現在では線源そのものをコントロールできなくても被ばく（およびその経路）をコントロールできるものは防護の対象とされるようになった。
- ・ 具体的には、航空機による高高度飛行や自然起源の放射性物質 NORM (Naturally Occuring Radioactive Material) について放射線防護方策がとられている。
- ・ 自然放射線から受ける放射線量は、世界平均で年間 2.4mSv である。このうち、ラドンの吸入によるものが 1.2mSv で最も大きく、宇宙線から 0.4mSv、大地放射線から 0.5mSv、食物などからの内部被ばくが 0.3mSv となっている（図 1）。
- ・ 高高度飛行で言えば、海面レベルでは 0.03 μ Sv/h 程度であるが、高度 10,000m では 5 μ Sv/h になる。

5.2.2 公衆被ばくの管理の考え方

- ・ 放射線利用が行われ、そこに線源が存在すれば、周辺の公衆に被ばくをもたらすこととなる。しかし、公衆は一人ひとりの個人が放射線防護の対象として個人モニタリングなどの管理を直接に受ける訳ではない。
- ・ このため、従来、決定グループ（集団の中でより高い線量を受ける生活習慣を同じくする小さな集団、critical group）という公衆被ばくを特徴付ける考え方を用いて、決定グループの平均線量に対して公衆の線量限度を適用してきた。
- ・ 近年、公衆の線量評価において、例えば長寿命核種の放射性廃棄物処分において仮想的な確率分布を考慮した線量評価の必要性も生まれ、決定グループの概念は代表的個人（representative person）の概念に置き換えられた。
- ・ 我が国の法令の観点から述べれば、放射線障害防止法は原子力基本法第 20 条を根拠として制定されているが、その目的に「放射線による障害を防止し、公共安全を確保するため」とあり、使用者側だけでなく周辺の公衆の安全確保も合わせて述べられている。

5.2.3 被ばく限度

- ICRPによれば、公衆の線量限度は実効線量で年あたり1mSvとされている。
- 公衆の線量限度を決めるにあたり、2つのアプローチが用いられている。ひとつは、職業被ばくについて用いられている考え方と同じで、リスク評価に基づくものである。1mSv/年は、生涯にわたり均等に被ばくした場合、年あたりの死亡リスクとして10,000分の1のリスクレベルに相当する。
- もう一つのアプローチは、自然放射線の変動レベルである。自然放射線のレベルは住む地域などにより多少高くなる場合もあるが、その変動は健康影響に小さな寄与を与えるに過ぎず、その違いは受け容れられないものではないとの考え方による。
- 線量限度は、個人関連の量である。着目する個人は、様々な線源から被ばくを受ける。線量限度として規制されるのは、その個人のトータルの線量である(図2)。
- 一方、正当化や最適化は、線源関連の量として考察される。ある放射線利用を導入する場合、そこで用いられる線源は周辺の公衆に被ばくをもたらす。その線源がもたらすトータルの線量を合理的にバランスさせるのが最適化である(図2)。

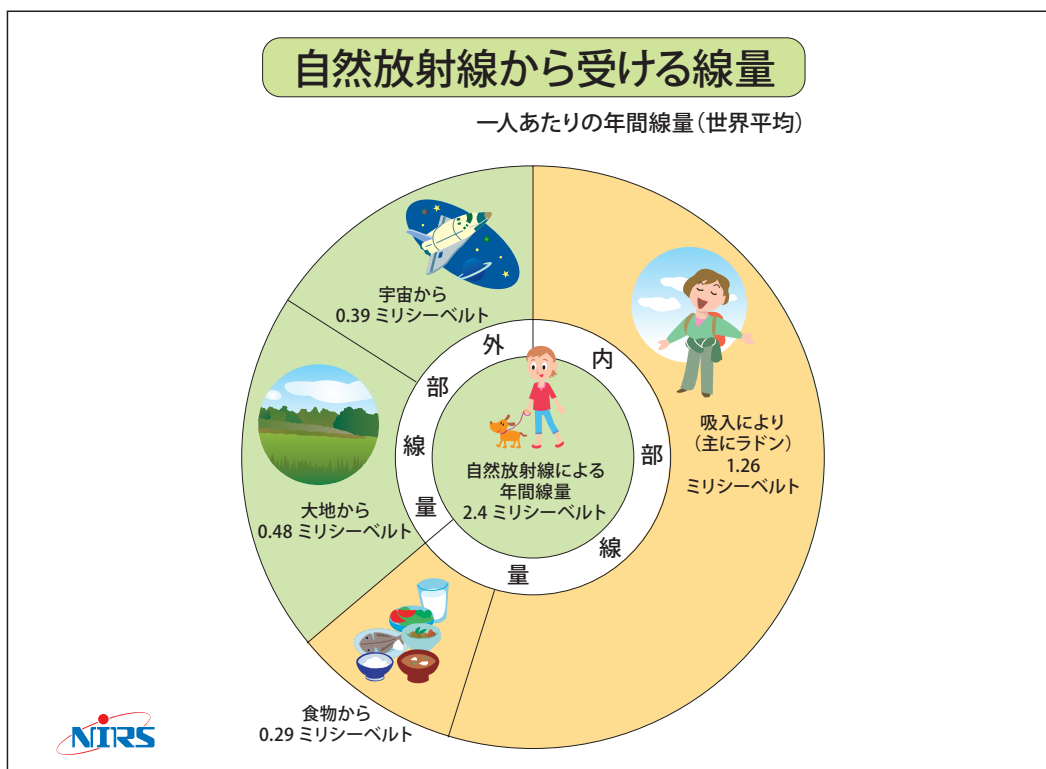


図1 自然放射線から受ける線量

(出典:「原子力エネルギー図面集 2010」電気事業連合会より改変)

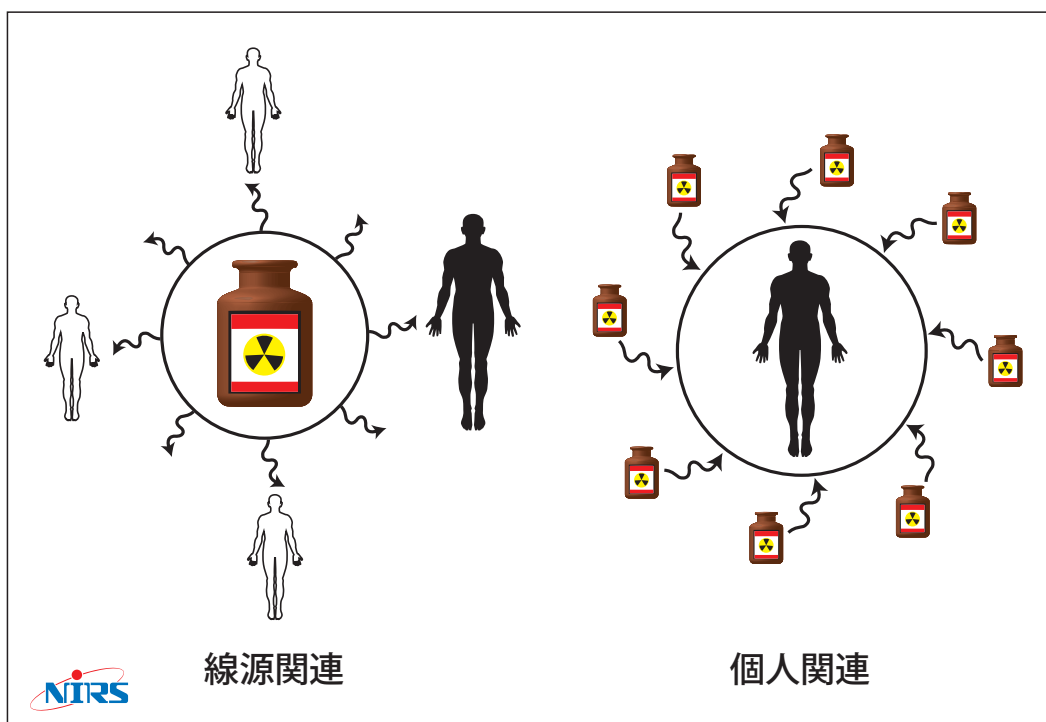


図2 2つの放射線防護の視点

(出典:ICRP「国際放射線防護委員会の2007年勧告」、日本アイソトープ協会、2009)

例題

問1. 次の公衆被ばくに関して、誤っているのはどれか。

- a. 公衆被ばくとは、職業被ばくを除き、医療被ばくを含めた被ばくをいう。
- b. 公衆被ばくの防護対象には、自然放射線源からの被ばくも含まれる。
- c. 航空機による高高度飛行、ラドンおよび NORM は、具体的な自然放射線の防護対象である。
- d. 自然放射線被ばくは世界平均で年間 2.4mSv であるが、このうちラドンの吸入による寄与が最も大きい。
- e. 航空機で高度 10,000m の飛行をすると、放射線レベルは地表の 100 倍以上にもなる。

問2. 次の公衆被ばくの管理に関して、誤っているのはどれか。

- a. 公衆の放射線防護では、モニタリングなど個人管理は行われない。
- b. 公衆に対する線量限度は、最も高い被ばくを受ける個人に適用される。
- c. 決定グループとは、集団の中でより高い線量を受ける数十人からなる生活習慣を同じにする小集団。
- d. 代表的個人は、食習慣、生活様式などのパラメータを考慮し、被ばく線量が大きいと考えられる仮想的な個人をいう。
- e. 我が国の法令においては、公共の安全確保として、周辺公衆の安全が図られている。

問3. 次の公衆の被ばく限度に関して、誤っているのはどれか。

- a. 公衆の線量限度は、年あたり 1mSv である。
- b. 線量限度は、危険と安全の境界を表す 1 つの指標である。
- c. 線量限度の放射線被ばくが一生涯続くと、死亡リスクが年あたり 10,000 分の 1 増加する。
- d. 公衆の線量限度は、リスクレベルの考察と自然放射線レベルの変動の観点から定められている。
- e. 線量限度は、放射線防護上、個人関連の量に整理される。

例題の答えと解説

問1. の答え： a

公衆被ばくとは、職業被ばくと医療被ばくを除いたすべての被ばくをいう。自然放射線源からの被ばくも防護の対象であり、航空機による高高度飛行、ラドンおよび NORM などが具体例である。
キーワード：自然放射線被ばく、高高度飛行、NORM、ラドン

問2. の答え： b

公衆の線量限度は、決定グループや代表的個人に適用される。
キーワード：線量限度、決定グループ、代表的個人、公共の安全

問3. の答え： b

線量限度は、安全と危険の境界を表すものではない。公衆の線量限度の場合、リスクレベルとして年あたり 10,000 分の 1 の死亡リスクに相当し、あわせて自然放射線の変動幅の視点からも定められている。
キーワード：線量限度の必要性、個人関連、線源関連

上級者向け学習支援用教材

- ・ICRP：ICRP Publication 103 国際放射線防護委員会の 2007 年勧告、日本アイソトープ協会、2009.

単元名	5.3 職業被ばく
改訂コアカリ 関連記載事項	○放射線防護と安全管理を説明できる。
一般目標	○職業被ばくの放射線防護の考え方と放射線管理要件について理解する。
到達目標	○職業被ばく(全般の職業)の管理方法について概説できる。
理解すべき要点	○実効線量限度と等価線量限度 ○個人被ばくモニタリング(外部被ばくと内部被ばく) ○放射線健康診断と教育訓練
教授すべき 必須事項	○実効線量限度 100mSv/5年のリスクレベル ○外部被ばくは個人線量計、内部被ばくは体外計測とバイオアッセイによる。 ○放射線健康診断の頻度と項目 ○教育訓練の頻度と項目
キーワード	実効線量限度、等価線量限度、個人被ばくモニタリング、健康診断、教育訓練
参照 tutorial	2、14、16
概要	
<p>5.3.1 職業人の線量限度 (表1)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 確定的影響を防止し、確率的影響を合理的に達成できる限り低減するという放射線防護の目標を達成するために、線量限度が定められている。 ・ 等価線量限度は、確定的影響の防止に着目したもので、各々の臓器・組織のしきい線量に十分な余裕を持って定められている。 ・ 実効線量限度は、確率的影響のリスクの制限に着目したもので、生涯線量 1Sv を基本として、就労期間を 50 年、管理期間を 5 年として、5 年で 100mSv が定められている。これは年あたりの死亡リスクで 0.001 に相当するレベルである。 ・ 具体的には、以下の通りである。 <ul style="list-style-type: none"> 実効線量限度：100mSv/5年、50mSv/年 <ul style="list-style-type: none"> 女性：5mSv/3月 妊娠中の女性：出産までの期間に内部被ばくについて 1mSv 等価線量限度：眼の水晶体：150mSv/年 <ul style="list-style-type: none"> 皮膚：500mSv/年 妊娠中の女性：出産までの期間に腹部表面について 2mSv ・ 放射線障害を防止するための緊急を要する作業に従事する場合、実効線量限度は 100mSv、等価線量限度は眼の水晶体について 300mSv、皮膚について 1Sv である。なお、東京電力福島第一原子力発電所事故に係る緊急時作業に限って実効線量限度が 250mSv に一時引き上げられたが、医療法施行規則への適用はされていない。 <p>5.3.2 管理の要件</p> <p>5.3.2.1 個人被ばくモニタリング</p> <p>(1) 外部被ばく：個人線量計の着用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 職業被ばくにおける外部被ばく線量管理は、管理区域に立ち入る際に個人線量計(図1)を装着することにより行う。着用部位は体幹部で、男性は胸部、女性は腹部である。ガラスバッジや OSL 線量計といった積算型の個人線量計を基本の線量計とし、1ヶ月(あるいは3ヶ月)毎に被ばく線量の測定・記録を行う。 	

- ・管理区域への入域毎あるいは作業単位毎の線量管理を行う必要がある場合は、電子式ポケット線量計(図2)を着用する。
- ・透視で線錐に手が入ってしまう場合のように、体幹部よりも高い線量を被ばくする部位があるときは、その部位に追加の線量計を装着する(手指の場合はリングバッジ)。
- ・散乱線などの影響で被ばく線量が高くなる場合には鉛エプロンを着用し被ばく低減を図る。このとき、胸部・腹部は鉛エプロンで覆われるが、頭頸部は覆うことができないため、鉛エプロンの内外に1つずつ合計2個の個人線量計を装着して、被ばく線量評価を行う(体幹部不均等被ばく)。

(2) 内部被ばく：体外計測とバイオアッセイ

- ・核医学などで放射性医薬品(非密封放射性物質)を取り扱う場合、放射性物質を体内に取り込む可能性があり、内部被ばく線量管理が必要な場合がある。
- ・ γ 線放出核種である場合はホールボディカウンタ(全身カウンタ)(図3)による体外計測法、 α ・ β 線放出核種である場合は便・尿などの生体試料を用いたバイオアッセイ法で行われる。
- ・しかし、通常の実験施設においては取扱量に応じた取扱設備・防護設備が備えられており、事故的な摂取でもない限り内部被ばくが問題となることは少なく、放射線管理上は空気中の放射性物質濃度から線量評価を行うことが多い。

5.3.2.2 健康診断(放射線障害防止法による規定)(表2)

- ・放射線健康診断は、管理区域に立ち入る放射線業務従事者について、①初めて管理区域に立ち入る前と②その後1年を超えない期間ごとに行う(電離放射線障害防止規則では6ヶ月を超えない期間ごと)。
- ・健康診断の方法及び項目は、問診及び検査又は検診である。1年を超えない期間ごとに行う健康診断では、問診を除き、医師が必要と認める場合に限り行う。

5.3.2.3 教育・訓練(放射線障害防止法による規定)(表3)

- ・教育・訓練は、放射線業務従事者が①初めて管理区域に立ち入る前または取扱等業務に従事する前(新規教育)と②その後1年を超えない期間ごと(再教育)に1回行う必要がある。
- ・教育・訓練の項目は、①放射線の人体に与える影響、②放射性同位元素等又は放射線発生装置の安全取扱い、③放射性同位元素及び放射線発生装置による放射線障害の防止に関する法令、④放射線障害予防規程である。新規教育について定められている項目毎の時間数を表に示す。再教育は、項目は同じであるが、時間数の定めはない。

表1 放射線診療従事者に係る線量限度

実効線量限度	5年間につき 100mSv 1年間につき 50mSv 女子については、3月間につき 5mSv 妊娠中である女子については、妊娠期間*につき、内部被ばくについて 1mSv
等価線量限度	眼の水晶体 :1年間につき 150mSv 皮膚 :1年間につき 500mSv 妊娠中である女子の腹部表面 :妊娠期間*につき 2mSv

* 本人の申出等により管理者が妊娠の事実を知った時から出産までの間



図1 個人線量計 (ガラスバッジ・ルクセルバッジ)



図2 電子式ポケット線量計



図3 ホールボディカウンタ

表2 健康診断の方法と項目

問診	イ 放射線の被ばく歴 ロ 被ばく歴を有する者については、作業の場所、線量、放射線障害の有無等その他の放射線による被曝の状況
検査又は検診	イ 末梢血液中の血色素量又はヘマトクリット値、赤血球数、白血球数及び白血球百分率 ロ 皮膚 ハ 眼 ニ その他文部科学大臣が定める部位及び項目

表3 放射線業務従事者及び取扱等業務に従事する者の教育及び訓練

教育及び訓練の項目	放射線業務従事者	取扱等業務に従事する者で管理区域に立ち入らない者
放射線の人体に与える影響	30分	30分
放射性同位元素等又は放射線発生装置の安全取扱い	4時間	1時間30分
放射性同位元素及び放射線発生装置による放射線障害の防止に関する法令	1時間	30分
放射線障害予防規程	30分	30分

例題

問1. 次の放射線診療従事者の線量限度に関して、正しいのはどれか。

- a. 実効線量限度は、1年間で50mSvである。
- b. 女子の実効線量限度が3月間につき定められているのは、男子に比べ放射線感受性が高いためである。
- c. 眼の水晶体の等価線量限度は、年300mSvである。
- d. 皮膚の等価線量限度は、年1Svである。
- e. 妊娠中の女子の実効線量限度は内部被ばくのみについて定められている。

問2. 次の個人モニタリングに関して、正しいのはどれか。

- a. 個人外部被ばくモニタリングは個人線量計を装着して行う。
- b. 個人線量計で測定するのは、全身の実効線量と皮膚の等価線量である。
- c. 鉛エプロンを着用して遮へいされたため、鉛エプロン内側にのみ個人線量計を装着した。
- d. 透視で線錐に手が入る可能性があるが、全身の被ばく線量の測定が重要なので胸部にのみ個人線量計を装着した。
- e. 内部被ばくモニタリングは、体外計測、バイオアッセイの他、作業環境の空气中放射性物質濃度測定による方法もある。

問3. 次の職業被ばくの管理の要件に関して、正しいのはどれか。

- a. 健康診断の頻度について、電離放射線障害防止規則、放射線障害防止法ともに1年を超えない期間ごとに1回である。
- b. 健康診断の検査は、省略することなくすべての項目について必ず行わなければ行けない。
- c. 教育訓練は、管理区域に立ち入る前と立ち入った後6ヶ月を超えない期間ごとに行わなければ行けない。
- d. 教育訓練の項目は、新規教育と再教育で違いはない。
- e. 教育訓練の時間は、新規教育と再教育で違いはない。

例題の答えと解説

問1. の答え： e

線量限度は、実効線量と等価線量のそれぞれについて定められている。基本的な限度は、実効線量で5年100mSvおよび1年50mSv、等価線量で眼の水晶体が年150mSv、皮膚が500mSvである。これに加え、妊娠可能な女子にあつては胎児を防護するためにできる限り被ばくは均等とするよう3月につき5mSvとの規程がある。妊娠中の女子については、外部被ばくについては腹部の等価線量として妊娠期間中に1mSv、内部被ばくについて預託実効線量として2mSvが定められている。

キーワード：実効線量限度、等価線量限度、妊娠可能な女子、妊娠中の女子

問2. の答え： a

測定結果は、実用量である1cm線量当量と70 μ m線量当量で示される。鉛エプロンを着用した場合は不均等被ばくとなり、個人線量計は鉛エプロンの内外にそれぞれ装着する必要がある。また、手指の被ばくが高くなる場合は、リングバッジなどを着用する必要がある。

キーワード：個人線量計、1cm線量当量、70 μ m線量当量、不均等被ばく、ホールボディカウンタ、バイオアッセイ、空气中放射性物質濃度測定

問3.の答え： d

健康診断の頻度は、電離放射線障害防止規則では6ヶ月を超えない期間ごとに1回、放射線障害防止法では1年を超えない期間ごとに1回と法令間で規定の違いがある。検査の項目については、電離放射線障害防止規則、放射線障害防止法ともに医師の判断により省略できる。教育訓練の実施頻度は、管理区域に立ち入った後1年を超えない期間ごとに1回である。健康診断と教育訓練について、省略できる場合を含めて、実施頻度と項目の要件をについて整理しておきたい。

キーワード：問診、検査又は検診、被ばく歴、省略、教育訓練項目、人体影響、安全取扱、法令

上級者向け学習支援用教材

- ICRP: ICRP Publication 103 国際放射線防護委員会の2007年勧告、日本アイソトープ協会、丸善、2009.
- 医療法施行規則、放射線障害防止法、電離放射線障害防止規則

単元名	5.4 医療被ばくと病院での被ばく
改訂コアカリ 関連記載事項	放射線防護と安全管理を説明できる。
一般目標	○放射線による診断に関する基本を学ぶ。
到達目標	○放射線防護と安全管理を説明できる。
理解すべき要点	○医療被ばくの定義・防護：線量限度がなく、診断参考レベル・線量拘束値が適用される ○医療被ばくの線量：異なるモダリティだけでなく、同一種類の診断でも線量に大きな違い ○医療施設における防護：医療被ばく・職業被ばく・公衆被ばく
教授すべき 必須事項	○ICRP Publ.60 及び 103 における医療被ばくの定義と防護の考え方 ○医療被ばくの現状 ○医療被ばく防護の実践
キーワード	行為の正当化、リスクと便益、防護の最適化、被ばく線量、診断参考レベル、品質管理
参照 tutorial	4、6、14
概要	<p>5.4.1 医療被ばくの定義</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ICRP 勧告における定義には、放射線診療で患者が受ける被ばくに加え、患者を介護・介助する人が受ける被ばく、そして生物医学研究で志願者が受ける被ばくが含まれる。 <p>5.4.2 医療被ばくの防護体系</p> <ul style="list-style-type: none"> ・正当化：医師・歯科医師が便益とリスクを鑑み判断する。ICRP では三段階の正当化のレベルがある。 ・最適化：医師・歯科医師・診療放射線技師が行う。患者の放射線診断では診断参考レベルを考慮する。介護者・介助者・研究志願者の被ばくには線量拘束値が適用される。診断参考レベルは拘束力を持たない目安となる数値。各医療施設はこの値と施設内の被ばく線量を比較し、診断参考レベルより高い場合は低くすることを検討する。線量分布の3/4の点、すなわち75%の施設がその値よりも低い線量を用いている点を診断参考レベルとして採用することが行われている。日本では、まだ防護に取り入れられていない。線量拘束値は、線源からの個人線量に対する予測的な制限値。介護者・介助者の線量拘束値として、1件あたり成人は5mSv、子どもは1mSvの値が与えられている。生物医学研究志願者の場合、研究倫理審査委員会にて期待される研究成果（社会への便益）に応じて判断されることになっている。 <p>5.4.3 医療被ばくの線量</p> <ul style="list-style-type: none"> ・放射線診療の手技に応じて、種々の線量指標が用いられている（図1、表1）。防護目的には等価線量・実効線量が用いられるが、直接測定・評価することができない。診断参考レベルに用いられている指標は、物理的に測定が可能な量である。放射線治療では、線量は吸収線量（Gy）で表す（通常、Svは用いない）。 ・被ばく線量の幅は、非常に広い（表2） 手技により、歯科の0.01mSvレベルから治療の数十Gyレベルまで、広い範囲にわたっている。同じ手技でも、医療施設や装置、撮影条件などによって桁が異なるほどの線量の差がある。線量が低すぎても適切な診療が行えない。

5.4.4 医療被ばくの現状

- ・正当化は医師・歯科医師の経験等から判断され、必ずしもガイドラインが参照されているわけではない。
「とりあえずCT」という様な判断は行うべきでない。第三レベルの判断は慎重にすべき。
- ・最適化は適切な照射条件の設定、放射線診療機器の品質管理等により行われる。
必要最低限の線量で適切な画質を確保する。照射野は可能な限り絞る。透視時間はできるだけ短く。
特に小児などには年齢・体格を考慮した条件設定が重要。
機器の劣化は線量増加をもたらすこともあることに留意。

5.4.5 医療施設における被ばく

- ・職業被ばく：放射線診療従事者の被ばくは適切に管理されなければならない。
個人線量計による個人モニタリングと、放射線診療施設の環境モニタリングにより管理される。
ほとんどは線量限度以下であるが、限度を超える従事者もわずかであるが報告あり (IVR など)。
- ・公衆被ばく：一般的に施設管理により線量限度が担保されている。
敷地境界では $250 \mu\text{Sv}/3 \text{ヶ月}$ (1年換算で 1mSv) を超えないように限度が定められ、管理されている。
(ただし、バックグラウンドを引いた、施設由来の正味の値として)
- ・その他：病院内における被ばく
病室内ポータブル撮影など。病室内は $1.3\text{mSv}/3 \text{ヶ月}$ という特別な規制がある。

5.4.6 医療施設外における被ばく

- ・医療被ばく：核医学検査・核医学治療を受けた患者、放射性核種を埋め込んだ患者からの放射線が介護者・介助者に対する被ばく源となり得るが、対応が適切であれば線量拘束値を超えない。放射性医薬品の投与患者の退出基準は、ストロンチウム 90、ヨウ素 131、イットリウム 90 に対して定められている。診療用放射線照射器具の永久挿入患者の退出に関しては、金 198 グレインとヨウ素 125 シードに対して指針が定められている。
- ・公衆被ばく：上記核医学の患者、放射線治療の患者からの放射線により被ばくする可能性がある。
公衆に対する被ばく源となり得るが、あったとしても微量であり、対応が適切であれば問題とならない。

5.4.7 その他

- ・100mGy 未満の被ばく線量は妊娠中絶の理由にならない (ICRP Publ. 84) ことが周知されるべき。

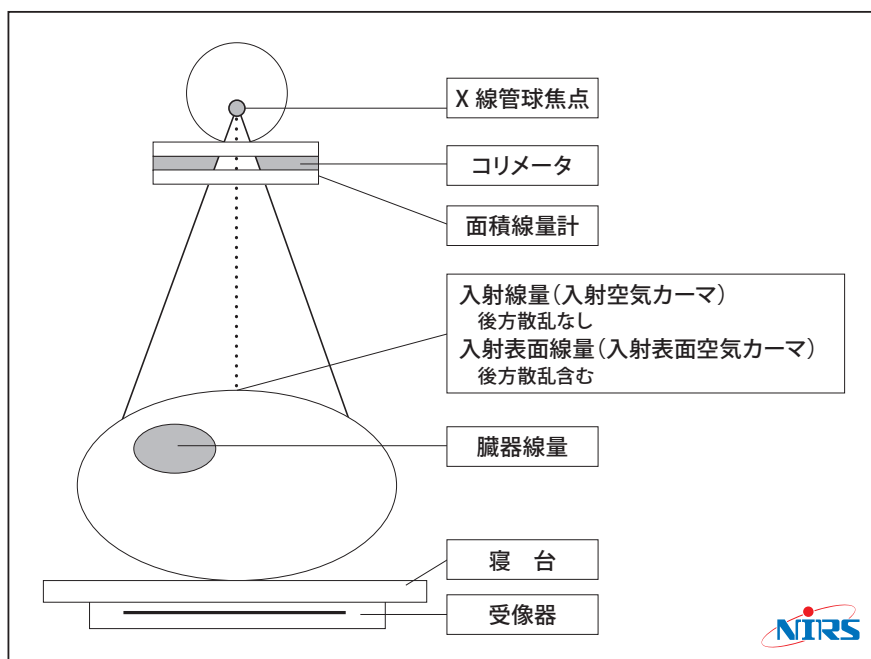


図1 撮影におけるジオメトリと線量

表1 種々の被ばく線量指標

被ばく線量指標			
対象	名称	単位	意味
X線診断	ESD(Entrance Surface Dose) 入射表面線量	mGy	X線が患者の体に入射する点における空気吸収線量(又は空気カーマ)
X線CT撮影	CTDI(CT Dose Index) CT線量指標	mGy	体幹部は直径32cm、頭部は直径16cmのPMMAファントムの中心の線量(周辺部の線量を重み付けた値も考慮したCTDIwなど、幾つかの種類がある)
〃	DLP(Dose Length Product) 線量長さ積	mGy・cm	CTDIにスキャン範囲の長さ乗じた値
透視	DAP(Dose Area Product) 面積線量積	mGy・cm ²	X線管のX線射出部に付けた面積線量計の測定値(射出部線量と照射面積を乗じた値)
核医学	等価線量・実効線量	mSv	MIRD法を用いて計算される内部被ばくの等価線量・実効線量

表2 各検査と診断参考レベル及び被ばく線量

検査の種類	診断参考レベル		被ばく線量		
	IAEA ガイダンスレベル	日本放射線技師会ガイドライン	線量の種類	線量	線量の種類
胸部撮影	0.4mGy	0.3mGy	入射表面線量	0.06mSv 程度	実効線量
上部消化管検査		直接 100mGy、間接 50mGy	入射表面線量	3mSv 程度	実効線量
CT撮影	頭部 50mGy、 腹部 25mGy	頭部 65mGy、腹部 20mGy	CTDI	5 ~ 30mSv 程度	実効線量
核医学検査	放射性医薬品毎の値	放射性医薬品毎の値	投与放射能	0.5 ~ 15mSv 程度	実効線量
PET検査	〃	〃	投与放射能	2 ~ 10mSv 程度	実効線量
乳房撮影	3mGy	2mGy	乳腺線量	2mGy 程度	乳腺線量
透視	通常 25mGy/分 (高レベル 100mGy/分)	透視線量率 25mGy/分	入射表面線量率	手技により異なる	
歯科撮影				2 ~ 10 μSv 程度	実効線量

例題

問1. 医療被ばくの最適化に関して正しいのはどれか。

- a. 生物医学研究の志願者の被ばくには診断参考レベルが適用される。
- b. 患者の放射線診断には線量拘束値が適用される。
- c. 患者を介護・介助する人の被ばくには線量拘束値が適用される。
- d. 線量拘束値はすべての被ばくの合計の値に対して適用される。
- e. 診断参考レベルは実効線量で表される。

問2. 放射線診療で患者が受ける被ばく線量の大まかなレベルについて正しいのはどれか。

- a. X線 CT 検査では、実効線量で 5-30mSv 程度である。
- b. 胸部 X 線検査では、実効線量で 1-3mSv 程度である。
- c. 核医学診断では、実効線量で 10-30mSv 程度である。
- d. 放射線治療では、実効線量で 500-700mSv 程度である。
- e. IVR では、実効線量で 2-5mSv 程度である。

問3. 医療施設における被ばくについて正しいのはどれか。

- a. 患者の被ばくは個人モニタリングと環境モニタリングで管理される。
- b. 医療施設境界は、年間 5mSv を超えないように管理されている。
- c. 病室内は 5mSv/3 か月という特別な規制がある。
- d. 放射性医薬品投与患者の退出基準はテクネチウム 99m について定められている。
- e. 診断参考レベル程度の CT 検査では、胎児の線量が 100mGy を超えることはない。

例題の答えと解説

問1. の答え： c

- a. 線量拘束値が適用される。
 - b. 診断参考レベルが適用される。
 - c. 正解。
 - d. 個々の線源に対して適用される。線量限度は合計の値に対して適用。
 - e. 測定可能な量で表される。
- * 患者の放射線診断 (X 線検査、核医学検査、IVR など) には、診断参考レベルが適用される。診断参考レベルは拘束力を持たず、測定可能な量で評価・運用される。線量拘束値は、防護量 (mSv) で考慮される。

問2. の答え： a

- a. 正解。
 - b. 0.06mSv 程度。
 - c. 0.5 ~ 15mSv 程度。
 - d. 患部に数十 Gy。一般に実効線量では表さない。
 - e. 照射皮膚面で Gy オーダーになり得る。
- * 各放射線診療の手技の線量レベルを把握しておくことが望ましい。手法が多岐に渡り線量にも大きな違いが見られること、同一手法の線量にも桁が異なるほどの大きな分布があること、測定 (評価) 値自体にも不確かさがあることにも留意。

問3.の答え： e

- a. 患者の被ばくではなく、放射線診療従事者の職業被ばくである。
 - b. 施設境界は $250 \mu\text{Sv}/3$ か月 (年間 1mSv) である。
 - c. 病室内は $1.3\text{mSv}/3$ か月 (年間約 5mSv) である。
 - d. ストロンチウム 90、ヨウ素 131、イットリウム 90 について定められている。
 - e. 正解。CTDI の値参照。
- * 管理基準や核医学における患者の退出基準 (算出根拠) を把握しておくこと。妊娠中の胎児の被ばくは、非常に重要な問題である。各放射線診療の被ばく線量レベルから、適切に対応することが求められる。

上級者向け学習支援用教材

- ICRP: ICRP Publication 103 国際放射線防護委員会の 2007 年勧告、日本アイソトープ協会、丸善、2009.
- UNSCEAR: 放射線の線源と影響 原子放射線の影響に関する国連科学委員会 UNSCEAR 2008 年報告書 [日本語版] 第 1 巻: 線源 (放射線医学総合研究所)



6 被ばく医療

単元名	6.1 被ばく医療
改訂コアカリ 関連記載事項	○放射線による障害の原因や対処等を概説できる。 ○災害時における医療体制確立の必要性と、現場におけるトリアージを説明できる。 ○初期救急病態を鑑別し、初期治療に参加できる。
一般目標	○被ばく医療の基本を学ぶ
到達目標	○被ばく時の一連の対応について概説できる
理解すべき要点	○被ばく事故の対象を知る ○被ばく形態、線量評価法・障害の特徴を知る ○被ばく医療活動時の要件・留意点・実際を知る ○代表的な体内除染剤を知る ○被ばく医療は応用医学であることを理解する
教授すべき 必須事項	○防災指針を知る
キーワード	外部被ばく、内部被ばく、汚染、線量評価、除染、養生、エリア、防護、ヨウ素剤、プルシアンブルー、DTPA (diethylenetriaminepentaacetic acid)
参照 tutorial	15、16
概要	
<p>6.1.1 被ばく事故 (図1)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・照射装置・密封線源装置事故、非密封線源事故、臨界事故、核テロ・放射能テロがある。 ・頻度：放射線装置事故 >> 臨界事故 (出典:REAC/TS 1944-2009) の順である。 <p>6.1.2 被ばくの種類 (図2)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・急性、慢性(時間の視点) に分類される。 ・全身、局所(範囲の視点) に分類される。 ・外部、内部(経路の視点) に分類される。 <p>(注1:内部被ばく侵入経路:生理的開口部(眼、鼻、口、肛門、膣、尿道)、非生理的開口部(創傷部位))</p> <p>6.1.3 被ばくの線量評価法</p> <p>6.1.3.1 内部被ばくの線量評価(推定)法 (図3、4、5)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・体外直接測定(主にγ線): Whole body counter(WBC)、肺モニター、甲状腺モニターがある。 ・バイオアッセイ(間接的測定、α、β線も測定可能): 生理的、非生理的開口部より検体採取、排泄物(尿、便、吐瀉物)より検体採取する。 ・空气中放射性物質濃度から推定計算する。 ・1/実効半減期: 1/物理学的半減期(核種毎の放射能の減り方) +1/生物学的半減期(体外排泄速度) (注2:実際に内部被ばく線量を評価するためには、体外計測結果、バイオアッセイ測定結果からソフトウエア MONDAL) を利用する。) <p>6.1.3.2 外部被ばくの線量評価(推定)法</p> <ul style="list-style-type: none"> ・体の中に放射性物質(中性子被ばくを除く)はない、従って、被ばくした状況のデータを集めて推定する(図6)。 ・線源情報:核種、放射能強度がある。 ・被ばく状況:被ばく距離、時間、遮へい状況がある。 	

6.1.3.3 その他の線量評価法 (図7)

- ・生物学的線量評価:リンパ球数、染色体異常(二動原体染色体、環状染色体)がある。
- ・臨床症状(ARS 項参照)

6.1.3.4 線量評価のまとめ(表1)

- ・内部被ばく線量は預託実効線量で表す。
- ・実効線量 = 外部被ばく線量 + 内部被ばく線量(預託実効線量)である。
(注3: 預託等価線量:ある臓器の放射性物質摂取後に、受ける線量のこと。大人は50年間、小児は70歳まで線量を計算する。)
(注4: 預託実効線量:全臓器の預託等価線量に、各臓器の影響が異なることを勘案した組織荷重係数を考慮して、全身の影響を表した線量のこと)

6.1.4 被ばく医療活動時に必要な要件(図8、9)

- ・資機材1:個人線量計、測定機器、簡易除染資材、エリアコントロールのためのロープ、標識、施設養生資機材、防護服、防護具(使い捨てキャップ、マスク、靴カバー、手袋、タイベックスーツ)がある。
- ・資機材2:二次・三次被ばく医療機関には身体除染設備、排水貯水槽、試料採取資材がある。

6.1.5 被ばく医療活動時の留意点と実際

- ・医療優先の原則:全身状態の評価、安定化が最優先される。
- ・二次災害の予防:汚染拡大防止、救助者の安全(防護三原則、内部被ばく経路別予防)がある。
- ・被ばく状況、汚染状況の把握(前項参照)がある。
- ・医療対応チーム結成、役割分担(チーム医療参照)が必要である。
- ・体表面汚染の除染:脱衣、創部、生理的開口部、健常皮膚の順で除染する。できることは患者自身で施行する。

6.1.6 内部被ばくの治療(図10)

- ・目的:放射性物質の吸収と内部沈着の低減・阻害である。
- ・投与の基準:預託実効線量が一つの目安、しかし明確な基準はない
- ・投与時期:早期投与が有効である。
- ・核種各論:選択的使用
 - (1) ヨウ素剤:放射性ヨウ素による内部被ばく時(甲状腺集積)に使用:服用対象者は40歳未満、服用回数は1回が原則、これ以上の服薬は避難が原則、服薬時期(予防内服は数時間前、被ばく後は可及的速やか)
 - (2) プルシアンブルー:セシウムの体外除去に使用:セシウムはカリウムと同様の体内動態、1日3-10gを内服、投与期間は3週間以上、投与中止は基準なし、服薬時期被ばく後は可及的速やか)
 - (3) DTPA:超ウラン金属(プルトニウム、アメリシウム、ウラン)をキレートし尿中排泄:1日1回静脈注射、投与中止基準なし

6.1.7 被ばく医療・患者の特殊性

- ・被ばくした瞬間の自覚症状がない(5感で感じない)。
- ・症状が出るまでに時間がかかる場合がある(発症時間の遅れ):予後推測が難しい。
- ・内部被ばくは放射性物質が残存している限り被ばくが遷延する。
- ・不安・風評被害を起こしやすい。
- ・放射線に対する基本知識が必要である。
- ・専門機関の助言が必要なことがある。

6.1.8 一般医療との相違点

- ・ 医療関係者の放射線防護が必要である。
- ・ 汚染物質の管理が必要である。
- ・ 線量推定による治療方針の決定が必要である。
- ・ 放射線管理要員の協力が必要である。

6.1.9 まとめ (図 11)

フロー図。

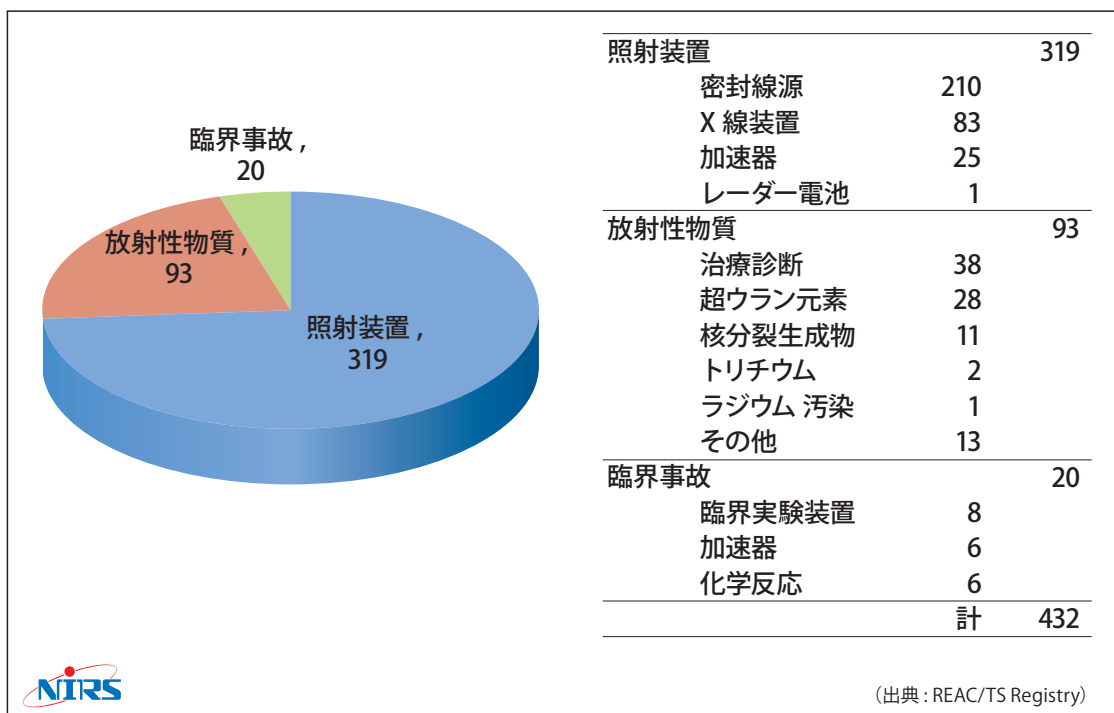


図1 放射線事故頻度

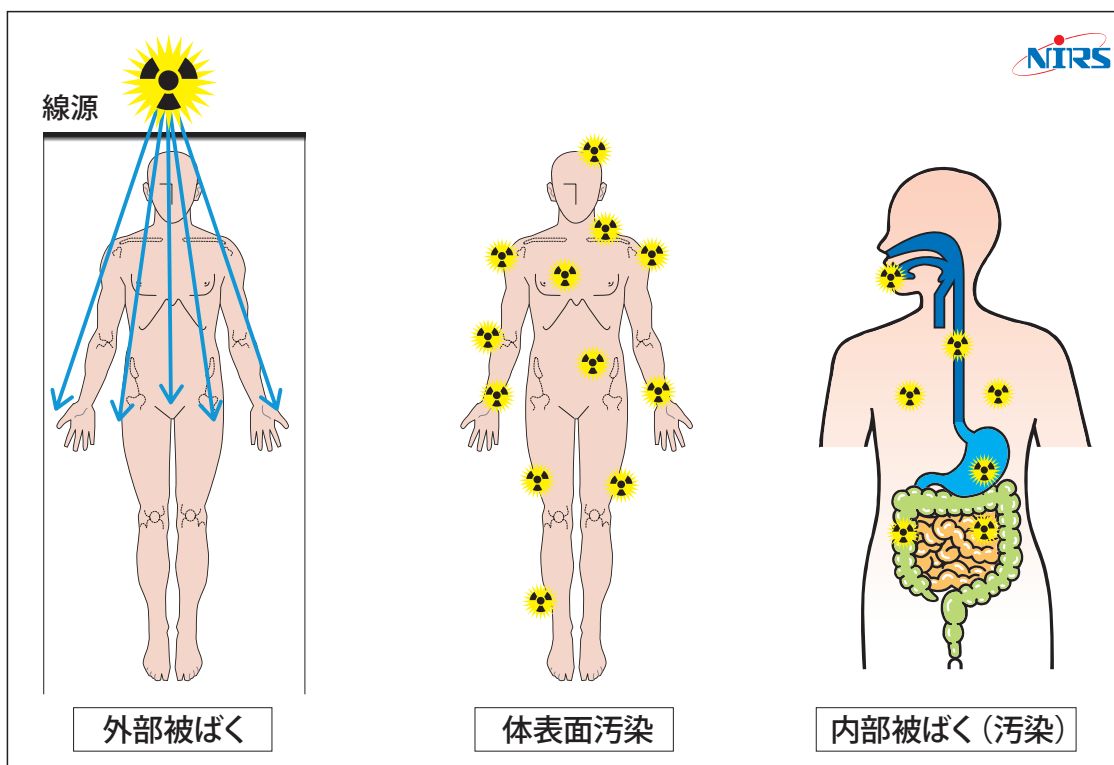


図2 外部・内部・体表面汚染の違い

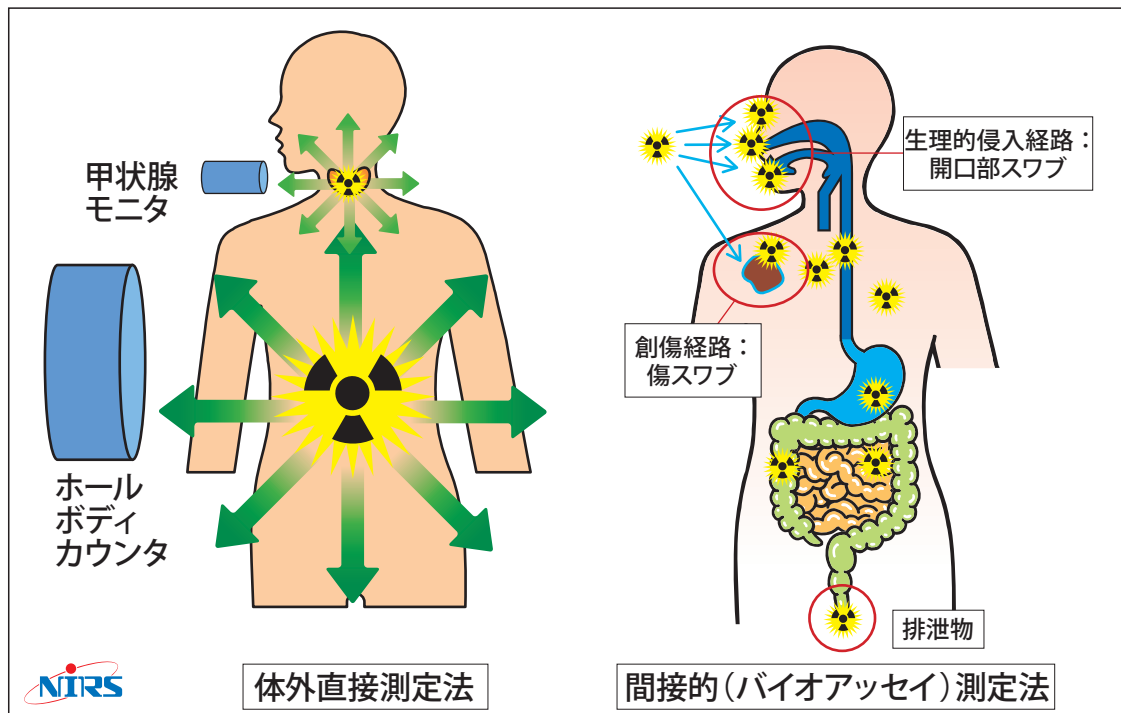


図3 内部被ばくの線量推定

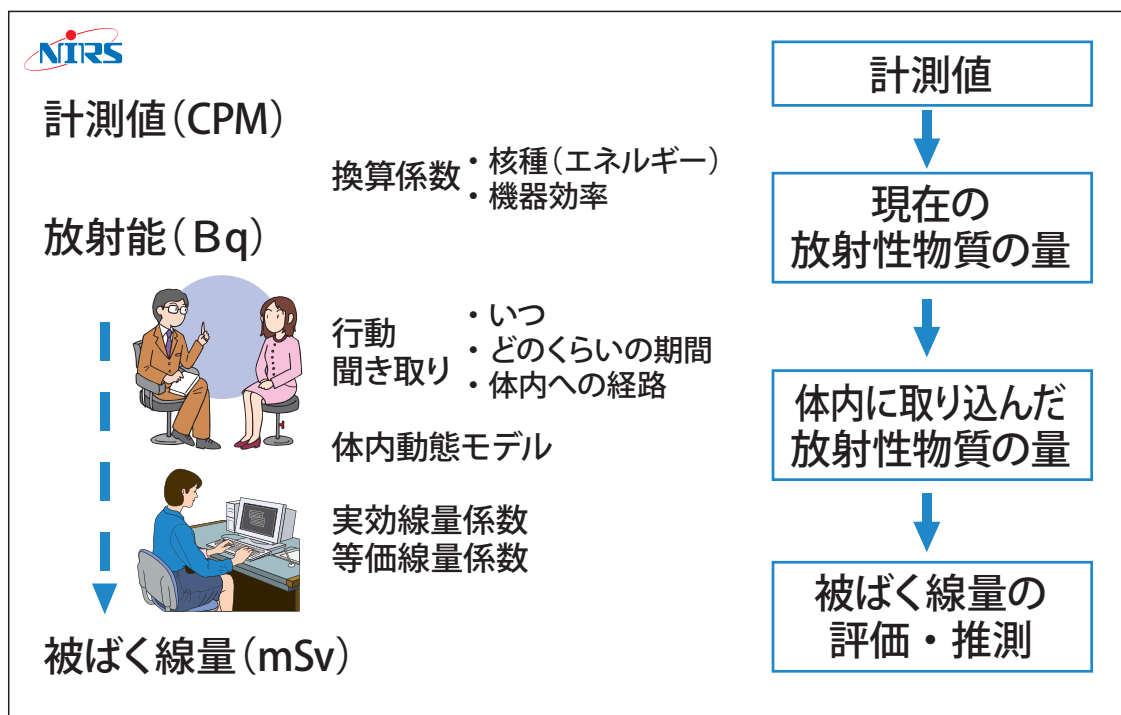


図4 計測値から被ばく線量へ

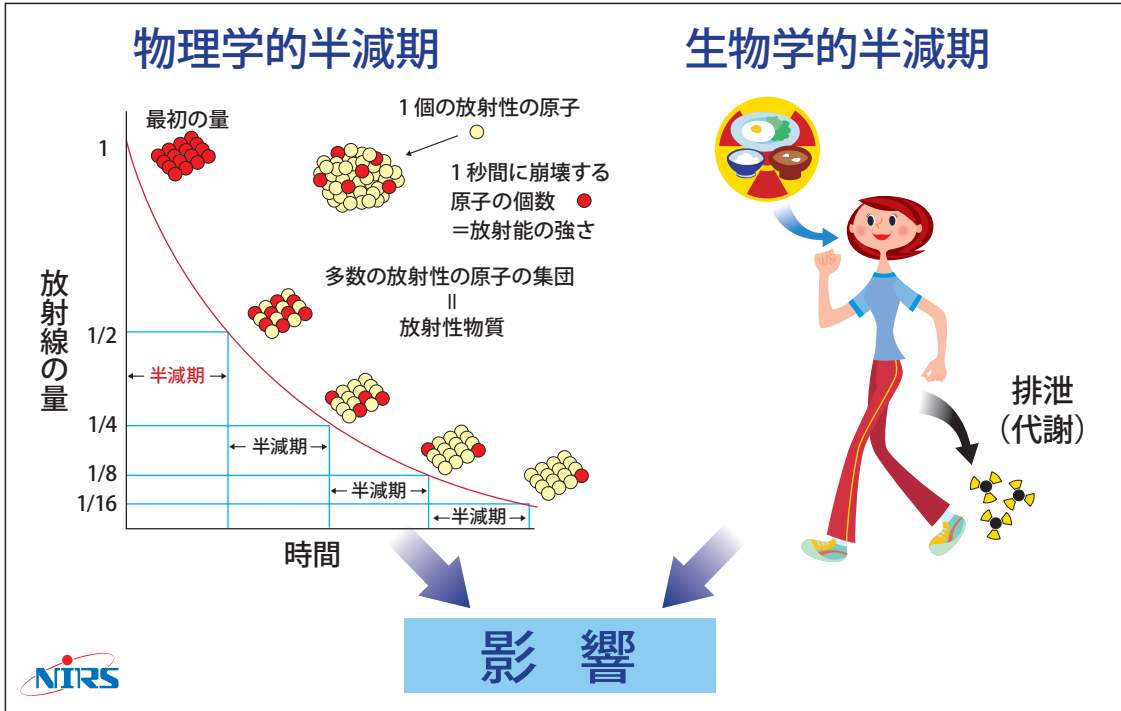


図5 実効半減期



図6 モニター各種

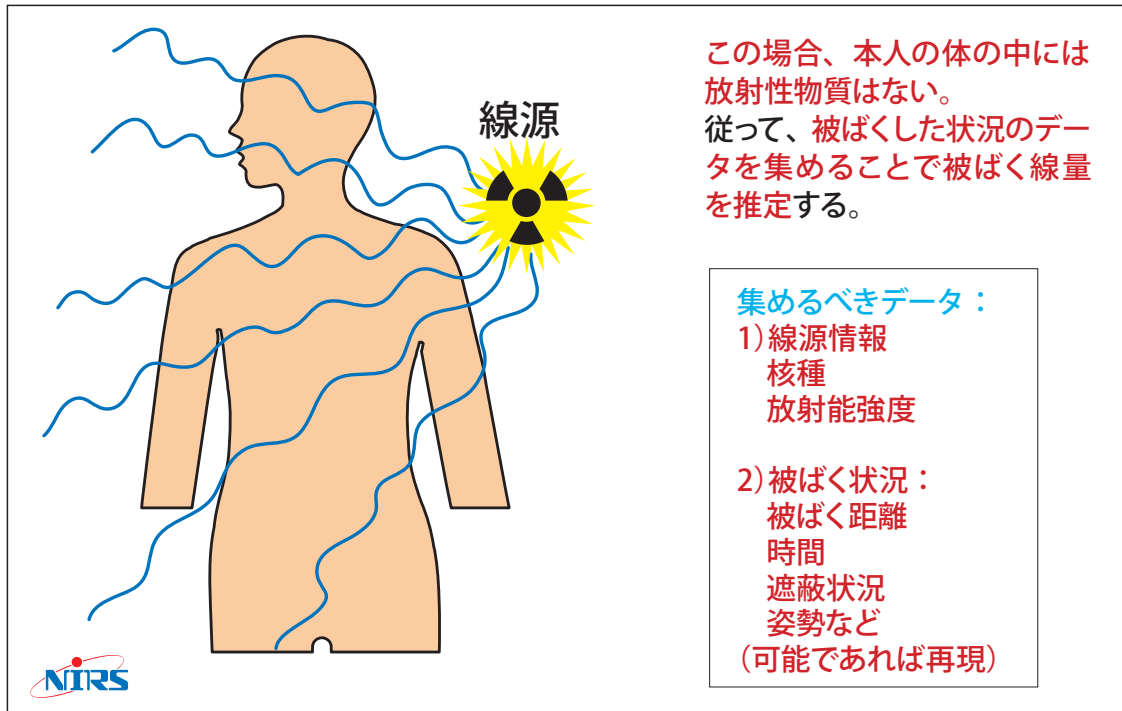


図7 外部被ばくの線量推定検査

表1 臨床症状・生物学的評価からみた線量推定

	所見	発症時間	線量 (Gy)
臨床症状	悪心・嘔吐	48 時間	～1
	紅斑	数時間～数日	～3
	脱毛	2～3 週間	～3
血算	リンパ球数 <1000/mm ³	24～72 時間	～0.5
染色体分析	染色体異常 (二動原体・環状など)	数時間 (結果に数日)	～0.2

(出典：IAEA/WHO Safety Report Series No.2 1998 より改変)



図8 防護服 (除染関係者・医療関係者)

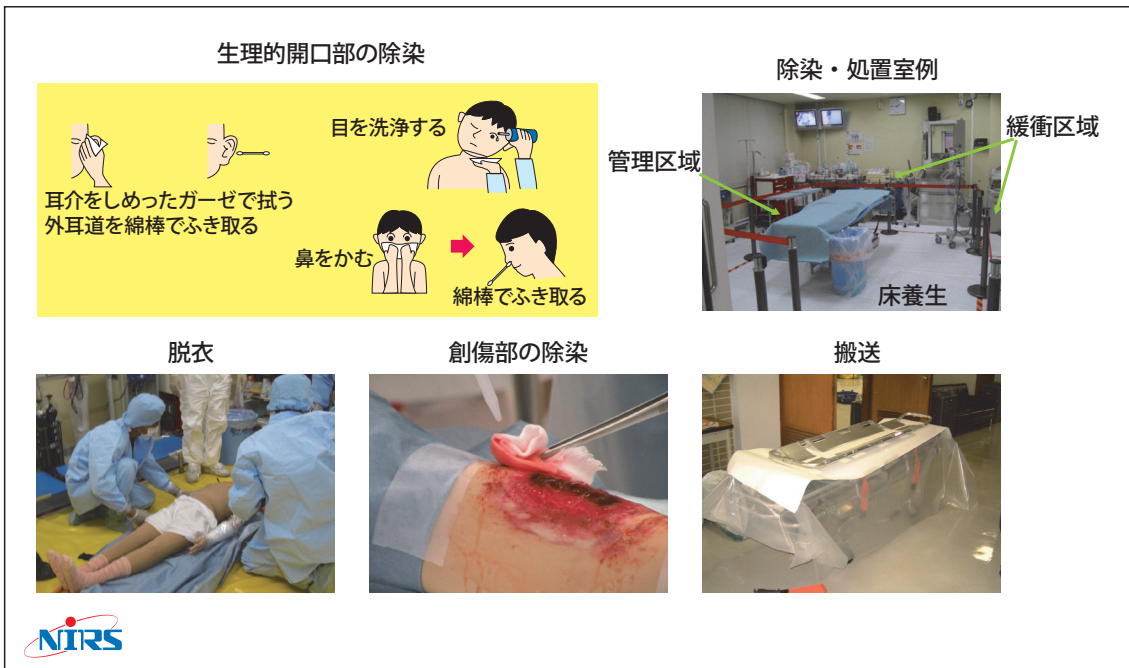


図9 除染・養生例

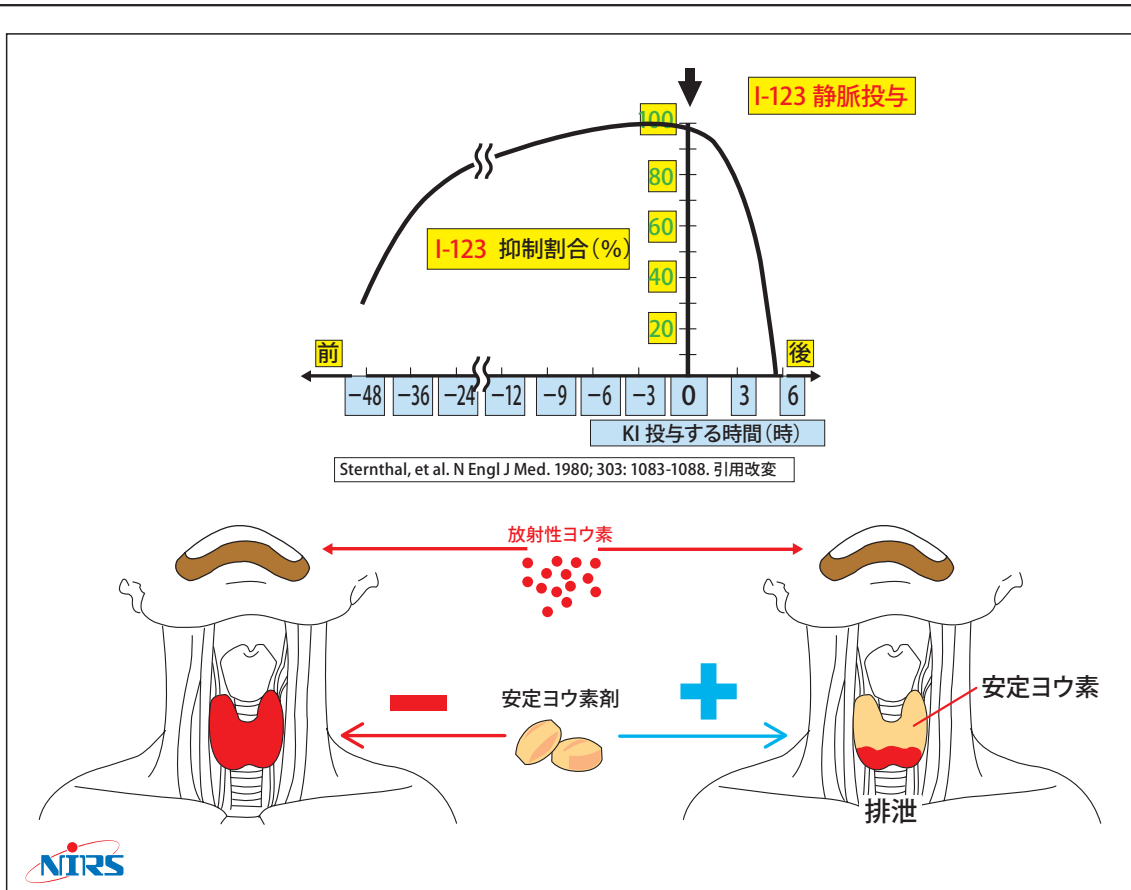


図10 ヨウ素剤投与時期と機序

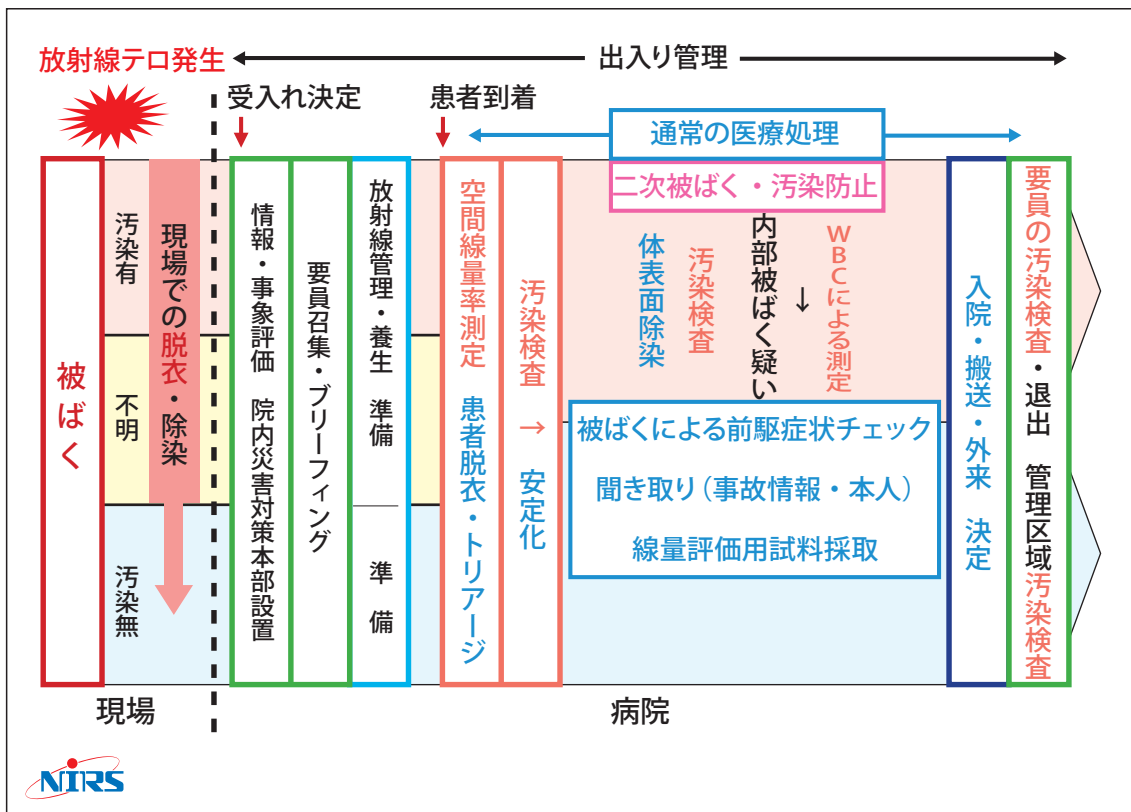


図11 被ばく患者対応フロー図

例題

問1. 放射線照射装置の誤作動により被ばくした患者が搬送されてきた場合、正しいのはどれか。

- a. タイベックスーツ着用
- b. 個人線量計装着
- c. 処置室養生
- d. 鼻スメア
- e. 採血

問2. 30歳の男性。原子力施設で作業中、原子炉事故に遭遇。事故直後に受診時の甲状腺モニターで放射性ヨウ素 I-131、500 mSv を検出した。誤りはどれか。

- a. ホールボディカウンタ測定
- b. プルシアンブルー投与
- c. ヨウ素剤投与
- d. 鼻スメア
- e. 皮膚洗浄

問3. ホールボディカウンタで主に測定するのはどれか。

- a. アルファ線
- b. エックス線
- c. ガンマ線
- d. ベータ線
- e. 中性子

例題の答えと解説

問1. の答え： e

外部被ばく、内部被ばくの違いを問う問題。汚染のない外部被ばくでは、患者には放射性物質はない。従って、タイベックスーツ、個人線量計、スメア検査、養生は不要。線量評価のための採血（白血球数、染色体異常）をする。

問2. の答え： b

被ばく時の薬剤選択、内服条件、内部被ばく検査時の条件を総合的に問う問題。内部被ばくを測定するには体表汚染がないことが条件、従って皮膚洗浄等により体表汚染を取り除くことが必要、その上で内部被ばくをホールボディカウンタ等で評価する。甲状腺等価線量 500mSv を検出しているので、安定ヨウ素剤の投与基準 (100mSv)* を超えている。鼻スメアは内部被ばく検査。

(* 2012年3月現在)

問3. の答え： c

基本知識を問う問題。注目されつつあるホールボディカウンタの適用を問う問題。

級者向け学習支援用教材

- ・ 緊急被ばく医療テキスト (青木芳朗、前川和彦 監修)、医療科学社、東京、2004
- ・ (財) 原子力安全技術センター： 原子力防災基礎用語集

単元名	6.2 緊急被ばく医療体制
改訂コアカリ 関連記載事項	地域における、救急医療、在宅医療の体制を説明できる。 災害時における医療体制確立の必要性と、現場におけるトリアージを説明できる。
一般目標	○緊急被ばく医療体制
到達目標	○日本の緊急被ばく医療体制について概説できる
理解すべき要点	○日本の緊急被ばく医療体制
教授すべき 必須事項	緊急被ばく医療体制
キーワード	初期被ばく医療機関 二次被ばく医療機関 三次被ばく医療機関
参照 tutorial	15、16

概要

6.2.1 原子力災害対策の法令等

- ・日本の原子力災害対策は、「災害対策基本法」に基づき、中央防災会議によって作成された「防災基本計画」にまとめられている。
- ・「防災基本計画」は、1999年9月に発生したJCOウラン加工施設の臨界事故をふまえ、原子力災害対策編について、従来の対象であった原子力発電所及び再処理施設に加え、加工施設、貯蔵施設、廃棄施設、運搬も対象とするなどの修正が行われた。
- ・JCOウラン加工施設臨界事故での教訓から、原子力災害時には、国、地方自治体の原子力災害対策本部などが情報を共有し、連携のとれた措置を講じ、対応を円滑に実施する必要性が明確になり、「原子力災害対策特別措置法（原災法）」が2000年6月に制定された。

6.2.2 緊急被ばく医療体制

- ・JCOウラン加工施設臨界事故での医療対応の経験をふまえ、より実効性のある緊急被ばく医療体制になるように、2001年6月に原子力安全委員会で「緊急被ばく医療のあり方について」が了承された。
- ・日本の緊急被ばく医療体制は、原子力施設の立地および隣接道府県に構築されており、2012年1月現在、19道府県にのみ構築されている（図1）。この19道府県は、それぞれ原子力施設の近隣地域に初期および二次被ばく医療機関を指定しており、原子力災害対応の研修や訓練、施設の整備、資機材の整備が重点的になされている（図2）。
- ・日本の緊急被ばく医療体制として、この19道府県を東日本ブロックと西日本ブロックの二つの地域ブロックに分け、それぞれ放射線医学総合研究所（放医研）と広島大学を三次被ばく医療機関として指定されている（図2）。
- ・放医研は、外部専門医療機関と被ばく医療に関する協力のためのネットワークとして、緊急被ばく医療ネットワーク、染色体ネットワーク、物理学的線量評価ネットワークの3つのネットワークを構築し、このネットワークによる情報交換、研究協力、人的交流を通じて平常時から緊急時医療体制の充実を図る。
- ・2011年3月に発生した東京電力福島第一原子力発電所事故を受け、原子力施設隣接県の追加が検討されている。

6.2.3 被ばく医療機関の役割

- ・ 初期被ばく医療機関：原子力施設の近隣において、汚染の有無に関わらず、搬送されてきた患者に対して、一般の救急診療の対象となる傷病への対応を含む初期診療を行う。
- ・ 二次被ばく医療機関：初期被ばく医療機関では対応困難な患者に線量測定、除染処置および専門的な医療対応を必要に応じて入院診療により行う。
- ・ 三次被ばく医療機関：線量評価、放射線防護や診療等に協力する関係機関の協力により詳細な線量評価等を行うとともに、初期および二次被ばく医療機関とも連携して被ばく医療を実践する。

例題

問1. 被ばく医療機関の役割でないのはどれか。

- a. 救急医療
- b. 体表面汚染検査
- c. 除染
- d. ホールボディカウンタによる計測
- e. 環境モニタリング

問2. 緊急被ばく医療体制について正しいのはどれか

- a. 全ての都道府県に整備されている。
- b. 再処理施設の事故には対応しない。
- c. 二次被ばく医療機関では、入院による処置ができない。
- d. 四次被ばく医療機関では、高度な被ばく線量評価を行う。
- e. 三次被ばく医療機関は放射線医学総合研究所と広島大学が指定されている。

例題の答えと解説

問1. の答え： e

被ばくや汚染では、即死することはなく、外傷、救急疾患により生命が脅かされるため、被ばく医療においては、汚染検査、除染よりも救命処置等の医療が最優先である。また、被ばく医療機関には、内部被ばくの線量評価のためにホールボディカウンタが設置、管理されている。

問2. の答え： e

2012年1月現在、緊急被ばく医療体制は、原子力施設立地および隣接道県である19道県にのみ整備されている。また、原子力発電所の事故のみならず、再処理施設、加工施設、貯蔵施設、廃棄施設、運搬も対象とする。さらに、三次被ばく医療機関は、放医研と広島大学が指定されており、より詳細な線量評価等を行う。

上級者向け学習支援用教材

- ・原子力安全委員会：緊急被ばく医療のあり方について、原子力安全委員会 原子力施設等防災専門部会 平成13年6月(平成20年10月一部改訂)

単元名	6.3 チーム医療
改訂コアカリ 関連記載事項	災害時における医療体制確立の必要性和、現場におけるトリアージを説明できる。
一般目標	○被ばく医療
到達目標	○被ばく医療におけるチーム医療の重要性について概説できる
理解すべき要点	○医師とコメディカルスタッフの協働
教授すべき 必須事項	○被ばく医療の対応における放射線管理要員の重要性和チーム医療の重要性について
キーワード	放射線管理要員、線量評価
参照 tutorial	15、16

概要

6.3.1

医療の実践において、医師のみで完結することはまずない。そこで、様々な職種のコメディカルスタッフと連携し医療を実践していく必要があるが、被ばく医療においても、被ばく医療を迅速かつ円滑に進めるためには、コメディカルスタッフとの協働は重要である。特に被ばく医療においては、放射線、放射性物質に関する専門的知識を必要とするため、放射線防護、保健物理、線量評価の専門家による助言、支援が不可欠であり、実際の被ばく医療の対応では、放射線管理要員が重要な役割を果たす。さらに、汚染した傷病者の対応では、汚染拡大防止のため、処置エリアをホットゾーン、コールドゾーンに分けて対応するため、通常の医療処置よりも多くのスタッフを必要とする(図1)。

6.3.2 被ばく医療対応のスタッフと役割

- (1) 医師 :1) 専門家の助言等をもとに傷病者の治療をする。2) 医療スタッフの安全を確保する。3) 必要な検査のオーダー(外部被ばく線量評価、汚染核種の同定、内部被ばく線量評価等)。4) 医療記録の作成。
- (2) 看護師 :1) 必要な資機材の準備。2) 処置の介助。3) 看護記録の作成。
- (3) 診療放射線技師または放射線管理要員 :1) スタッフの被ばく管理。2) 傷病者の汚染検査、記録、線量評価。3) 生体試料の管理、分析。4) 放射性廃棄物の管理。5) 放射線管理区域の管理。
- (4) 臨床検査技師 :1) 臨床検査。2) 生体試料の管理。
- (5) 薬剤師 :1) 医療機関等において薬剤の供給、調剤および管理。2) 薬剤の投与に際して医師に協力する。
- (6) 管理調整員 :1) 情報の管理、処理。2) 広報活動。3) 必要な資機材の調達。

6.3.3 放射線管理要員

放射線管理要員とは、放射性物質を取り扱う事業所内で、放射性物質による人への影響を考慮し、安全で合理的な管理を行う専門家であり、放射線生物学、物理学、化学、法令の知識を有している。そこで、被ばく医療の現場では、傷病者の身体汚染検査、除染及び被ばく線量の測定、医療機関や搬送車両等の設備、資機材の汚染拡大防止及び汚染検査に協力する。

6.3.4 被ばく医療と線量評価

被ばく医療において、線量評価は被ばくの診断、治療方針の決定、予後の評価において重要であるが、線量評価には専門的技術、知識が必要である。物理学的線量評価および生物学的線量評価の専門家が、被ばく医療機関に必ずしもいるわけではなく、他機関の専門家に線量評価を依頼する必要がある。外部被ばく線量評価のためには、個人線量計の値、被ばくの状況（時期、期間など）、染色体分析等の情報が必要であり、内部被ばく線量評価のためには、放射性物質の摂取の状況、尿等の試料等の情報が必要であり、線量評価の専門家に情報提供することも緊急被ばく医療対応のスタッフの役割となり、相互の連携が必要となる。

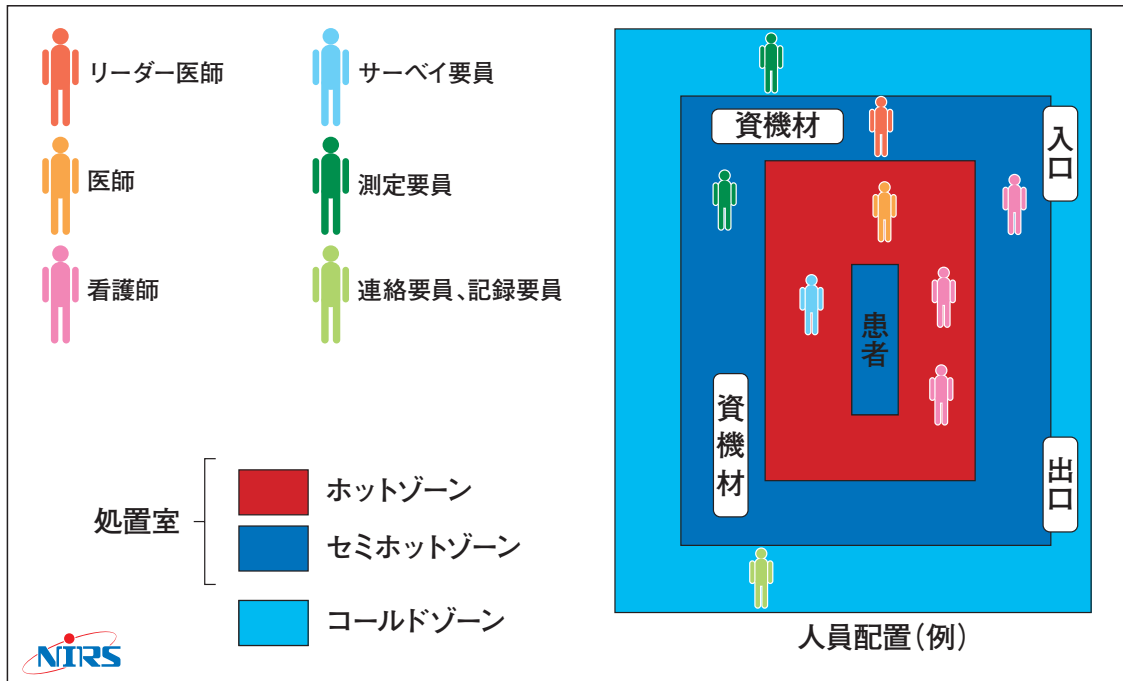


図1 処置室における人員の配置例

例題

問1. 被ばく医療における医師の役割でないのはどれか。

- a. 治療方針の決定
- b. 被ばく線量評価
- c. 対応するスタッフとの情報共有
- d. 搬送設備（救急車等）の除染
- e. 傷病者の除染・処置

例題の答えと解説

問1.の答え： d

線量評価は、専門的知識が必要なので、線量評価の専門家の助言が必要であり、チーム内での情報共有と連携が重要である。

上級者向け学習支援用教材

- ・ 原子力安全委員会：緊急被ばく医療のあり方について、原子力安全委員会 原子力施設等防災専門部会 平成13年6月（平成20年10月一部改訂）



.....

【付録 1】チュートリアル学習課題例

.....

1. 温泉好きの心配

1-1

やすよさんは温泉好きの80歳代の女性です。ラジウム温泉は体に良いと聞いて、毎月行っていました。ところが最近になって、ラジウムは放射性物質だと聞いて心配になりました。果たして体に悪い影響があるのでしょうか、やすよさんにどのように説明したら良いのでしょうか？

指導のポイント

- ①ラジウムの同位元素を理解する。
- ②自然界の放射性同位元素を理解する。

1-2

事故で発生するラジウムと温泉のラジウムは何が違うのでしょうか。自然に受けるその他の種類の放射線も心配ないのでしょうか？

指導のポイント

- ①自然放射線の種類と量を理解する。
- ②その影響について理解する。

関連単元 2.1 放射線・放射性物質とは何か

2. 病院実習中の被ばく

2-1

浩樹君は病院実習で放射線科の医師が放射線を測るものを身につけているのを見ました。それは何か、次に放射線科を廻る同級生に説明して下さい。

指導のポイント

- ①医療放射線の測定について理解する。

2-2

同級生に、患者さんや看護師さんはつけなくて良いのか、誰がどのような時に身につけないといけないのか聞かれました。説明して下さい。

指導のポイント

- ①放射線医療従事者の被ばく管理について理解する。

関連単元 2.2 測定、線量と単位
5.3 職業被ばく

3. 放射線治療法の説明

3-1

あなたは、病院実習で肺癌に対して化学放射線治療中の青木さんを受け持ちました。青木さんから、放射線はレーザーのように病気を焼き切るのか、正常な細胞も同じようにダメージを受けるのかと聞かれました。放射線療法がどのように体に作用するのか、青木さんに説明してあげて下さい。

指導のポイント

- ①放射線の生物作用を理解する。
- ②組織による放射線感受性の差を理解する。

関連単元 3.1 放射線の生物作用

4. 母乳への不安

4-1

正子さんは、授乳中ですが咳が出て内科を受診して胸部 X-P を撮影しました。X-P 検査の結果は異常なしでしたが、受けた放射線が母乳に出るのではないかと不安になりました。果たして影響はあるのでしょうか、正子さんにどのように説明したら良いのでしょうか？

指導のポイント

- ① 放射線と放射性物質の差を理解する。
- ② 胸部 X-P の影響を理解する。

4-2

X-P 検査を受けても母乳には影響しないとわかりましたが、病院で受けるその他の放射線を使う検査も心配ないのでしょうか？

指導のポイント

- ① 放射性物質を使う検査について理解する。
- ② その影響について理解する。

関連単元

- 3. 2 放射線の健康影響
- 5. 2 公衆被ばく
- 5. 4 医療被ばくと病院での被ばく

5. ハネムーンベイビー

5-1

あなたは産科の医師です。患者の明美さんは新婚旅行で海外に出かけ、その後で妊娠していることを市販の簡易キットで知りました。しかし、空港で受けた X 線検査が胎児に影響するかもしれないと心配になって、中絶した方が良いか相談に来ました。明美さんは心配と後悔で泣きそうになっています。果たして影響はあるのでしょうか、明美さんにどのように説明したら良いのでしょうか？

指導のポイント

- ① 空港の X 線検査の線量や影響について知る。
- ② 放射線とその線量による影響を理解する

5-2

空港の X 線検査は胎児に影響しないとわかりましたが、病院で受ける X 線検査も心配ないのでしょうか？

指導のポイント

- ① 医療被ばくとその線量について知る。
- ② その影響について理解する

関連単元

- 3. 2 放射線の健康影響

6. 待ちに待った妊娠

6-1

あなたは父から医院を引き継いだ内科の開業医です。患者のあゆみさん 40 歳は、小学校の同級生でした。最近吐き気があつて食が進まないと精査を希望して受診しました。胃の内視鏡検査、腹部超音波検査を行いましたが無異常なく、投薬にて 2 週間様子をみましたが軽快しません。そこで、腹部骨盤の CT を施行しましたが、原因となるような病変はなく、経過観察としました。ところが、その後、あゆみさんは生理がなく、産婦人科を受診したところ、妊娠していることがわかったと報告にきました。CT 当時は妊娠 9 週間であったと推察されます。結婚して 12 年間子供ができなかつたので、もう子供はできないと自分も患者ご本人も思っていました。あなたは責任を感じています。果たしてあゆみさんは妊娠を継続して大丈夫でしょうか、胎児に影響が出る可能性はないでしょうか。

指導のポイント

- ① CT 検査の線量や胎児に及ぼす影響について知る
- ② 放射線とその線量や線質による胎児に及ぼす影響を理解する

関連単元

- 3. 2 放射線の健康影響
- 4 a . 1 放射線診断の原理・実際と有害事象
- 5. 4 医療被ばくと病院での被ばく

7. 狭心症患者の訴え

7-1

あなたは大学病院で勤務する循環器内科の医師です。患者の田中さん (65 歳男性) は、狭心症で冠動脈前下降枝に数カ所、強度の狭窄があります。心カテーテル検査、PTCD など数年にわたり数回行った後に、心臓に一致した胸部の皮膚にただれのような症状が出てきました。検査や治療との関連がある可能性はないでしょうか。どのようにしたら原因がわかるでしょうか。

指導のポイント

- ① IVR の線量や正常組織に及ぼす影響について検討する。
- ② 放射線線量の推定法について理解する

関連単元

- 3. 2 放射線の健康影響

8. ヘビースモーカー

8-1

親友の洋君のおじいさんの隆さんは 82 歳、ヘビースモーカーで、肺気腫と狭心症を煩い、近所の内科に通院中です。定期検診の胸部 X-P で右上葉に 1.5cm の異常陰影を指摘されました。あなたは、洋君に相談されましたが、これから先、どのような検査を行えば良いでしょうか。

指導のポイント

- ① 肺癌疑いの場合の診断法について理解する。

8-2

大学病院にて精査の結果、末梢型肺腺癌 IA 期と診断されました。あなたならどのような治療法を勧めますか？

指導のポイント

- ① 非小細胞肺癌の治療法について理解する。

関連単元

- 4 a . 1 放射線診断の原理・実際と有害事象
- 4 a . 2 核医学診断の原理・実際と有害事象
- 4 b . 1 放射線治療の原理・実際と有害事象

9. 乳房のしこり

9-1

あなたの親友の里美さんは、会社の検診の乳房エコーとマンモグラフィーで右乳房要精査と言われました。右乳房にはしこりなどは触れないそうで、元気に仕事をしていて、症状は何もありません。これから先、どのような検査を行えば良いでしょうか。

指導のポイント

- ① 乳癌疑いの場合の診断法について理解する。

9-2

画像診断上腫瘍は乳腺の一部に局限しており、生検では、非浸潤性乳管癌でした。あなたならどのような治療法を勧めますか？

指導のポイント

- ① 早期乳癌の治療法について理解する。

関連単元

- 4a.1 放射線診断の原理・実際と有害事象
- 4a.2 核医学診断の原理・実際と有害事象
- 4b.1 放射線治療の原理・実際と有害事象

10. 母乳とシンチグラム

10-1

あなたのいとこの優里さんは赤ちゃんが生まれて授乳中です。ところが、出産後に腎臓の機能が低下したと言われ検査をすることになりました。腎シンチグラムを受けた後は授乳してはいけないと言われ、あなたに理由を尋ね電話をしてきました。どのように説明すれば良いでしょうか？

指導のポイント

- ① 放射性同位元素を使った検査法について理解する。

10-2

造影剤を注射して腎臓のX線撮影を撮ったのは、授乳に影響ないのかと聞かれました。どのように説明すれば良いでしょうか？

指導のポイント

- ① 放射線と放射性物質の差を理解する。

関連単元

- 3.2 放射線の健康影響
- 4a.1 放射線診断の原理・実際と有害事象
- 4a.2 核医学診断の原理・実際と有害事象

11. 不正性器出血

11-1

あなたの大叔母の静子さんは90歳ですが、ひとりで暮らしている程元気です。ところが、不正出血があると近所の婦人科を受診したところ、がんの疑いと言われ、大きな病院に行くように勧められたとのことです。これから先、どのような検査を行えば良いでしょうか。

指導のポイント

- ① 子宮癌疑いの場合の診断法について理解する。

11-2	精査の結果、子宮頸癌とわかりました。画像診断上腫瘍は子宮頸部に限局しています。転移はありません。生検では、扁平上皮癌でした。これから先、どのような治療を行えば良いでしょうか。
指導のポイント	① 子宮頸癌の治療法について理解する。
関連単元	4b.1 放射線治療の原理・実際と有害事象

12. お父さんの健康診断

12-1	あなたのお父様の正さんは75歳、健康診断のPSAが15 ng/mLで受診を勧められました。頻尿などの尿路症状は何もありません。これから先、どのような検査を行えば良いでしょうか。
指導のポイント	① 前立腺癌の治療法について理解する。
12-2	精査の結果、前立腺癌とわかりました。画像診断上腫瘍は前立腺の一部に限局しています。生検でGleason scoreは7でした。これから先、どのような治療を行えば良いでしょうか。
指導のポイント	① 前立腺癌の治療法について理解する。
関連単元	4a.1 放射線診断の原理・実際と有害事象 4a.2 核医学診断の原理・実際と有害事象 4b.1 放射線治療の原理・実際と有害事象 5.2 公衆被ばく

13. 少年のいたずら

13-1	13才の少年が両手の熱傷様症状を訴えて外来を受診しました。少年は、軽い下痢をしていました。手に熱い物を触った記憶はないといいます。1週間ほど前に、父の上着のポケットに見慣れない形状の金属棒を見つけました。少年は、工具だと思って少しだけ試した後、台所の引き出しに入れました。その金属片は、父が1ヶ月ほど前に自宅に持ち帰ったものでした。その時、父は右足にけがをしていましたが、軽症にもかかわらず、2週間前に急変し死亡してしまいました。少年は母親と祖母と同居しています。
	① 来院した少年に何を問診するのでしょうか？どのような検査計画を立てるのでしょうか？診断プロセスをどのように進めるのでしょうか？ ② 少年を診断・治療すること以外に、どのようなことを考慮すべきでしょうか？また、その考えたことの対策として、何をすべきでしょうか？ ③ 新聞でこの事件が報道され、近所の住民から「子供ができなくなるのか」「子孫に遺伝病が出るのか」などの訴えがありました。それぞれの質問をどのように考えればよいでしょうか？ ④ この少年の全身被ばくの平均線量は4.2 Gyでした。生存したとして、中長期的にどのような問題が予想されるのでしょうか。
指導のポイント	① 放射線の性質や急性放射線症を理解する。 ② メンタルケアの重要性を理解する。 ③ 確定的影響・確率的影響を理解する。 ④ 晩発影響を理解する。

関連単元	3.2 放射線の健康影響 5.1 放射線のリスク管理 5.2 公衆被ばく
------	--

14. 元気すぎる男の子

14-1	
大貴君は3歳の元気な男の子です。自宅の近所の児童公園で友達と遊んでいて滑り台の階段から落ち、右肘からコンクリートの地面に打ってしまいました。痛くて右腕は伸びません。お母さんに連れられて整形外科を受診し、骨折の疑いで腕の単純X線撮影をすることになりました。一人でじっとしていることはできません。どのようにしたら良いでしょうか？	
指導のポイント	
① 医療被ばくの正当性を理解する。 ② 放射線のリスクを理解する	
14-2	
お母さんは妊娠中です。誰が介助すればよいでしょうか？またどうしたら介助者の被ばくを軽減できるでしょうか？	
指導のポイント	
① 医療被ばく、職業被ばく、公衆被ばくの考え方を理解する、 ② 放射線防護の実際を理解する。	
関連単元	3.2 放射線の健康影響 4a.1 放射線診断の原理・実際と有害事象 5.1 放射線のリスク管理 5.2 公衆被ばく 5.3 職業被ばく 5.4 医療被ばくと病院での被ばく

15. 原子力発電所の事故

15-1	
あなたは東京都内で開業している産科の医師です。今日は2011年3月16日で、東日本大震災の発生から5日目、原子力発電所の事故が報道されて市民は大きく動揺しています。都内でも放射線の線量率が上がっています。患者の絵里さんは妊娠6ヶ月で、3歳の子供がいますが、早く避難した方が良いか相談に来ました。どのような影響があるのでしょうか、どのように対処したら良いでしょうか？	
指導のポイント	
① 放射線被ばく事故に対する医師としての対処を考える。 ② 放射線被ばく事故の場合の被ばくの仕方や線量による影響の差を理解する。	
関連単元	3.2 放射線の健康影響 5.1 放射線のリスク管理 6.1 被ばく医療 6.2 緊急被ばく医療体制 6.3 チーム医療

16. 産業医の仕事

16-1

あなたは放医建設の産業医です。午後8時頃に携帯電話に連絡が入り、放射線を取り扱う工場での改装工事中に、社員が放射線被ばくしたらしいと言われ指示を求められました。まずすべき事は何でしょうか？

16-2

どこに連絡を取ればいいでしょうか？

指導のポイント

- ① 放射線被ばく事故に対する医師としての対処を考える。
- ② 放射線被ばく事故の場合の被ばくの仕方や線量による影響の差を理解する。
- ③ 連絡方法を理解する。

関連単元	3.2	放射線の健康影響
	5.1	放射線のリスク管理
	5.3	職業被ばく
	6.1	被ばく医療
	6.2	緊急被ばく医療体制
	6.3	チーム医療



.....
【付録 2】 予備知識のための基本用語集
.....

行	用語	説明
あ	IVR interventional radiology	Interventional Radiology(IVR)とは、診断技術を用いた治療法である。透視装置、MRI、CT、超音波を用いる。心臓の冠動脈狭窄をカテーテルを用いて治療する血管内手術 (PCI) が代表である。PCI では、透視装置を用いる。
	アポトーシス apoptosis	不要な細胞や有害な細胞が、細胞内部の遺伝子によって決められたプログラムに従って死ぬこと。
	医学物理士 medical physicist	放射線を用いた医療が適切に実施されるように、物理学的観点から貢献する医療職。病院にいる応用物理学者。
	X線以外の画像診断 (MRI、US)magnetic resonance imaging ultrasound	MRIは、強い磁場環境において、水素の原子核に外部から電磁波を与えることで共振させ、共振が解ける(緩和)時に出力される電磁波を測定することで体内の状態を画像化する検査法である。 超音波は、高い周波数の音波を体内に向けて発射し、反射波を測定することで体内の状態を画像化する検査法である。
	エレクトロンボルト electron volt	電子が1Vの電位差によって加速されて得るエネルギーのこと。電子ボルトということもある。表記はeVである。 Cs-137のγ線のエネルギーは662keVである。
	汚染 contamination	放射性物質が、体表面に付着しているもしくは体内に存在すること。
か	外部被ばく external exposure	人体が放射線を身体の外から受けること。外部被ばくを主に起こすのはγ線、X線、β線、中性子線である。
	核異性体転移 isomeric transfer (IT)	壊変後の原子核が一定期間励起状態のまま存在することがあり(準安定:metastable)、このような核種を核異性体と呼ぶ。核異性体がγ線を放出して安定状態に移ることを核異性体転移と呼ぶ。準安定状態の核種は、質量数の右側に metastable の "m" の符号が付されている(例:Tc-99m)。
	ガンマカメラ gamma-camera	入射したγ線を蛍光に変換するシンチレーター(NaIの単結晶)と、その蛍光を光電子に変え信号を増幅する光電子増倍管よりなる。通常は、γ線の飛来方向を限定するためのコリメーターを前面に装着する。
	軌道電子 orbital electron	原子核の周囲を一定の軌道を描いて回っていると考えられる電子。
	吸収補正 attenuation correction	PETにおいて、正確な定量評価のためには、体内の組織による放射線の吸収の影響を補正する必要がある。そのために、外部線源を体外で回転させ、放射線の透過データを収集し、それを元にPETデータの補正を行う。現在普及しているPET/CTでは、外部線源ではなく、CTデータを元に補正が行われる。
	強度変調放射線治療 intensity modulated radiation therapy	コンピュータ制御により照射野の形状を変化させたビームを複数用いて、正常組織の照射線量を抑えつつ腫瘍に放射線を集中して照射する照射技術。
	クーロン力 coulomb force	正電荷同士、あるいは負電荷同士の間には斥力(互いに反発する力)が生じる。正電荷と負電荷の間には引力が働く。これらの力をクーロン力という。放射線と物質との相互作用、すなわち電離や励起を起す力である。
原理(X線の吸収) x-ray absorption	X線の特徴は体内を通過することである。通過時にX線は吸収され減弱するが、臓器の組成により吸収度が違う。この差を濃淡として表現し、体内の状態を推定するのがX線診断である。	

さ	サーベイメータ survey meter	持ち運びできる放射線測定装置で空間線量率 (μ Sv/h) や表面汚染の計数率 (cpm) を測定するものがある。
	GM サーベイメータ GM survey meter	ガイガーとミュラーによって開発された電離を利用したサーベイメータで表面汚染の計数率 (cpm) を測定するものである。
	CTDI 等の線量指標 CT dose	CTの線量は、検査時に直接行うことができないので、アクリルファントムとCT用電離箱を用いて得た値から推定した量を用いる。これがCTDI(Computerized Tomography Dose Index)である。単位はGyである。
	時間放射能曲線 time-activity curve (TAC)	組織(病巣)に集積した放射能の経時的な変化を測定し、縦軸に放射能、横軸に時間をプロットしたもの。ヒトでのイメージングでは、イメージ上で標的臓器や病巣に関心領域(region of interest; ROI)を設定し、ROI内のカウント数をもとに放射能を求める。得られた時間放射能曲線の下の部分の面積(area under the curve; AUC)から累積放射能を計算する。
	ジュール joule	エネルギーの単位で0.239カロリーと等価である。表記はJである。 $1\text{eV}=1.602\times 10^{-19}\text{J}$ の関係がある。
	除染 decontamination	身体・人工物・自然物の表面に付着した放射性物質を除去、低下させること。
	シンクロトロン synchrotron	円形加速器の一種で電子やイオンなどの粒子を加速にあわせて、磁場をコントロールすることによって、加速粒子の軌道半径を一定に保ちながら加速を行う装置である。陽子線、炭素線がん治療に使われている。
	各診断のモダリティの特徴(単純X線撮影と透視、X線CT、IVR) modality	画像診断は、放射線を用いたものと用いないものに分けられる。単純X線撮影、透視、CTは放射線を用いる。MRI、超音波検査は放射線を用いない画像診断法である。
	シンチレーション式サーベイメータ scintillation survey meter	放射線が当たると光を発する物質を検出部に利用したサーベイメータで空間線量率 (μ Sv/h) や表面汚染の計数率 (cpm) を測定するものがある。
	潜伏期 latent period	ある刺激や原因が作用してから反応が現れるまでの期間。
線量評価 dose estimation/assessment	被ばく線量を種々の方法で推定すること。	
た	定位照射 stereotactic radiotherapy	病巣部に対し多方向から狙いを定めて放射線を集中させる照射方法。3cm以下くらいの病巣が良い適応とされている。
	DTPA (diethylenetriaminepentaacetic acid)	キレート剤で主に超ウラン元素による内部被ばくの治療薬。(重金属放射性同位元素に対して複合体を形成し腎臓から排出される薬剤)
	電離箱式サーベイメータ ionizing chamber survey meter	空気などのガスの電離現象を利用したサーベイメータで空間線量率 (μ Sv/h) を測定するものである。おもに大線量 (~300mSv/h) の測定に適している。
な	内部被ばく internal exposure	身体内に取り込んだ放射性物質により臓器・組織が被ばくすること。生理的侵入経路として吸入、経口、経皮がある。
は	プルシアンブルー prussian blue	フェロシアン化第二鉄で、セシウムによる内部被ばくの治療薬(腸管から再吸収されることを防ぐ)。
	分割照射 fractionated radiation	一回線量は1.8~2.0Gy程度の小線量を週5回などに分けて照射する方法。正常組織の放射線損傷を回復させる目的で行われる。

は	放射線診断（造影剤を含む）による有害事象の可能性 side effect	診断の目的で用いられた検査法で有害事象が生じることはまれであるが、脳循環検査における長時間のCT検査による脱毛や火傷が知られている。MRIでの大きな合併症は電磁波による火傷である。 CT造影剤の有害事象として、熱感、蕁麻疹、嘔吐、腎障害などが知られている。まれにはショックにより死亡することがある。
	放射線増感剤 radiation sensitizer	腫瘍細胞の放射線療法に対する反応性を高める薬剤。併用することで腫瘍細胞の致死率が高まる。
や	養生 curing	放射性物質が表面に付着するのを予め防ぐためにポリエチレン濾紙などで表面を覆うこと。
	ヨウ素剤 iodine tablet	放射性ヨウ素が体内に取り込まれた、または取り込まれる可能性が高い場合に甲状腺への沈着を防ぐため使用される薬剤。
ら	ラジカル radical	対をなさない電子を一つ又はそれ以上持つ原子または原子団。一般に不安定で反応性が極めて高い。
	リニアック linac	医療用直線加速器のこと。電子またはイオンなどの粒子を電場で直線的に加速していく加速器である。X線がん治療に使われている。

索引

あ	
アポトーシス	31
ALARA (アララ) の原則	63
安全管理に関する概念	63
遺伝子・細胞・生体への作用	27
医療法施行規則	64
X線以外の画像診断 (MRI、US)	41
エリア	99
LNTモデル (しきい値なし直線モデル)	34
汚染	33
か	
外部照射	57
外部被ばく防護の三原則	50
核医学検査	49
核異性体転移	53
確定的影響	28, 34
確率的影響	28, 34
間接作用	27
がん細胞への影響	27
ガンマカメライメージング	49
軌道電子捕獲	53
教育訓練	73
局所被ばく	27
吸収線量 (Gy)	19, 56
吸収補正	52
強度変調放射線治療 (IMRT)	57
空間線量率 (μ Sv/h)	20
健康診断	73
原子力災害対策特別措置法	95
行為の正当化	77
光子線	57
個人被ばくモニタリング	72
個人被ばく線量 (Sv)	20
急性放射線症	33
さ	
災害対策基本法	95
細胞死	27
散乱線	73
三次被ばく医療機関	95
CTDI等の線量指標	42
DTPA	86
時間放射能曲線	53
しきい値	30, 34
実効半減期	49
実用量	20
除染	92
修復	27
初期被ばく医療機関	95
小線源治療	57
消滅放射線	49
診断参考レベル	63
診断モダリティの特徴	41
シンチレーション検出器	20
生物学的効果比 (RBE)	28
生物学的半減期	49
SPECT	49
照射線量 (C/kg、R)	20
実効線量 (Sv)	20
実効線量限度	72
線エネルギー付与 (LET)	14
線量拘束値	77
線量当量 (Sv)	20
線量評価	99
全身被ばく	27, 35
た	
胎児被ばく	34
T1強調MRI画像	41
低酸素効果	27
耐容線量	57
直接作用	27
定位照射	57
電離	13
電離箱検出器	20
電離放射線障害防止規則	64
等価線量 (Sv)	19

等価線量限度	72
突然変異	27

な

内部被ばくの治療	86
内用療法	57
内部被ばく	35, 50

は

バッジ	20
半減期	13
半導体検出器	20
被ばく線量	77
品質管理	57, 77
物理学的半減期	49
プラナーイメージング	51
プルシアンブルー	86
分割効果	27
分割照射	56
ベルゴニー・トリボンドーの法則	33
防護の最適化	63
放射線	13
放射線障害防止法	64
放射線と物質の相互作用	13
放射線損傷	27
放射線の性質	13
放射線防護	63, 70
放射線防護量	19
放射能	13
放射線感受性	56
放射性同位元素	13
放射性物質	13
放射線発がん	30
放射線発生装置	14
放射化	14

放射性医薬品	49
放射線皮膚炎	57
放射線粘膜炎	57
放射線肺炎	57
放射線診断による有害事象の可能性	41
放射線管理要員	99
PET	49
PET/CT	49
ポケット線量計	20
ポジترون(陽電子)	49
ホールボディカウンタ(全身カウンタ)	73

ま

MIRD法	50
密封小線源	57

や

有害事象	41
養生	92
ヨウ素剤	86
ヨードシールド	60

ら・わ

リスクと便益	77
リスクの考え方	63
粒子線	13

おわりに

本資料は、医学教育モデル・コア・カリキュラムに記載された、放射線被ばく、放射線防護、被ばく医療関係の項目を踏まえ、体系的に整理したものですので、医学教育の現場のみならず、学生の自己学習の参考等にも活用できるものとなっています。

本資料が広く活用されることにより、医学生放射線防護、被ばく医療分野の基本的な素養が涵養され、以て我が国の被ばく医療等が充実することを期待しています。

なお、本書の内容は平成 24 年 3 月現在の内容となっておりますが、国等における各般の検討結果、関係各位のご示唆等を踏まえ、今後とも適宜改定して参ります。

本資料作成に当たり、ご協力いただきました関係各位に感謝の意を表します。

平成 24 年 4 月
独立行政法人 放射線医学総合研究所

被ばく医療関係の指導参考資料作成に関する検討委員会 構成員

主査	明石 真言	(放医研 研究担当理事)
委員	赤羽 恵一	(放医研 医療被ばく研究プロジェクト医療被ばく研究推進室長)
委員	井上登美夫	(横浜市立大学 放射線科教授)
委員	岡本 美孝	(千葉大学大学院医学研究院 再建医学講座・耳鼻咽喉科学教授)
委員	唐澤久美子	(放医研 重粒子医科学センター病院治療課第3治療室長)
委員	神田 玲子	(放医研 放射線防護研究センター上席研究員)
委員	神立 進	(放医研 重粒子医科学センター病院診断課長)
委員	佐賀 恒夫	(放医研 分子イメージング研究センター 分子病態イメージング研究プログラムリーダー)
委員	坂本 哲也	(帝京大学医学部 救急医学講座主任教授)
委員	白川 芳幸	(放医研 研究基盤センター研究基盤技術部長)
委員	杉浦 紳之	(放医研 緊急被ばく医療研究センター長)
委員	田嶋 克史	(放医研 緊急被ばく医療研究センター被ばく医療部長)
委員	立崎 英夫	(放医研 緊急被ばく医療研究センター被ばく医療部障害診断室長)
委員	富永 隆子	(放医研 緊急被ばく医療研究センター被ばく医療部障害診断室主任研究員)

アドバイザー 福田康一郎 ((社)医療系大学間共用試験実施評価機構副理事長)

事務局長	村田 貴司	(放医研 総務担当理事)
事務局員	内田 滋夫	(放医研 研究基盤センター長)
事務局員	松下 悟	(放医研 研究基盤副センター長)
事務局員	上田 順市	(放医研 研究基盤センター運営企画ユニット)
事務局員	大澤 孝介	(放医研 研究基盤センター運営企画ユニット研究推進・運営室)

