

放射線と安全管理

加藤 和明

高エネルギー加速器研究機構 名誉教授

茨城県立医療大学 名誉教授

(NPO) 放射線安全フォーラム 理事長

「一部資料において、引用文につきまして出典元より
ご意見を頂きましたので削除しています。関係者に、
ご迷惑をおかけいたしましたこととお詫びいたします。」

放射線

- 自然または宇宙：容器と収納物
 - “時空”という容器に“物質”が入っている
 - “物質”が形態を整えて存在するのが“物体”
 - 物体・物質の構成要素である“素粒子”（またはその簡単な結合体である原子核）が空中を飛んでいるのが“放射線”

放射能

- 放射能 = “放射線を出す能力” → “不安定な原子核は、一般に、放射線の形でエネルギーを放出し安定化を図る → 核放射線
- 核放射線: アルファ()線、ベータ(線)、ガンマ()線、中性子線、陽子線、パイ中間子、etc.
 - エックス(X)線とガンマ線の違い: 生成の場所

寿命と半減期

< 別紙資料1 >

核放射線以外の放射線

J-PARCでつくられる放射線

宇宙から常時降り注がれている放射線

< 別紙資料2 >

線量とは？

- 線量

- 放射線の物体に及ぼす影響を科学の対象とするために導入した“原因の量”←基本的線量：「吸収線量」
- 実効線量：防護のための被曝管理に使用目的を特化させた線量であって被曝によって齎される“リスク”の表現体を目指したもの。但し理想的出来栄えとはいえない。

私たちは毎日のくらしの中で 常に放射線を受けています

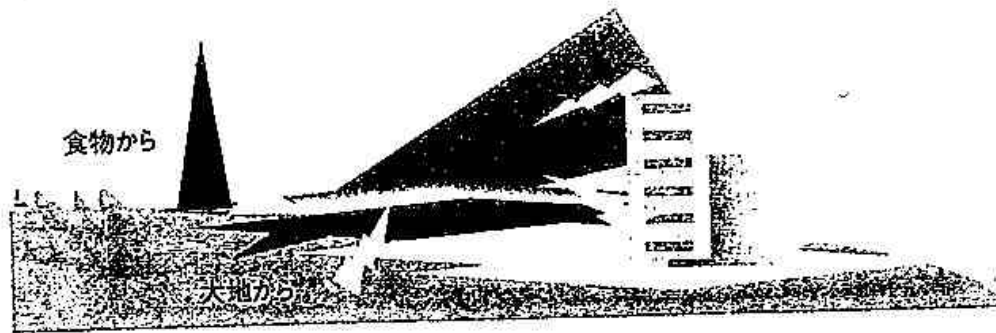
宇宙から



空気中から

食物から

大地から



●医療で使われる放射線 (1回あたり)

C T (胸部)	6.6~14.6mSv
胃のX線集団検診	0.6mSv
胸部のX線集団検診	0.05mSv
歯科用X線撮影 (パノラマ撮影*2)	0.014mSv

生の営みにおいて関わりを回避できない 放射線

日本の国民線量 [原安協-131(1992)]

3.75 mSv/y (実効線量)

医療 2.25

自然 1.48

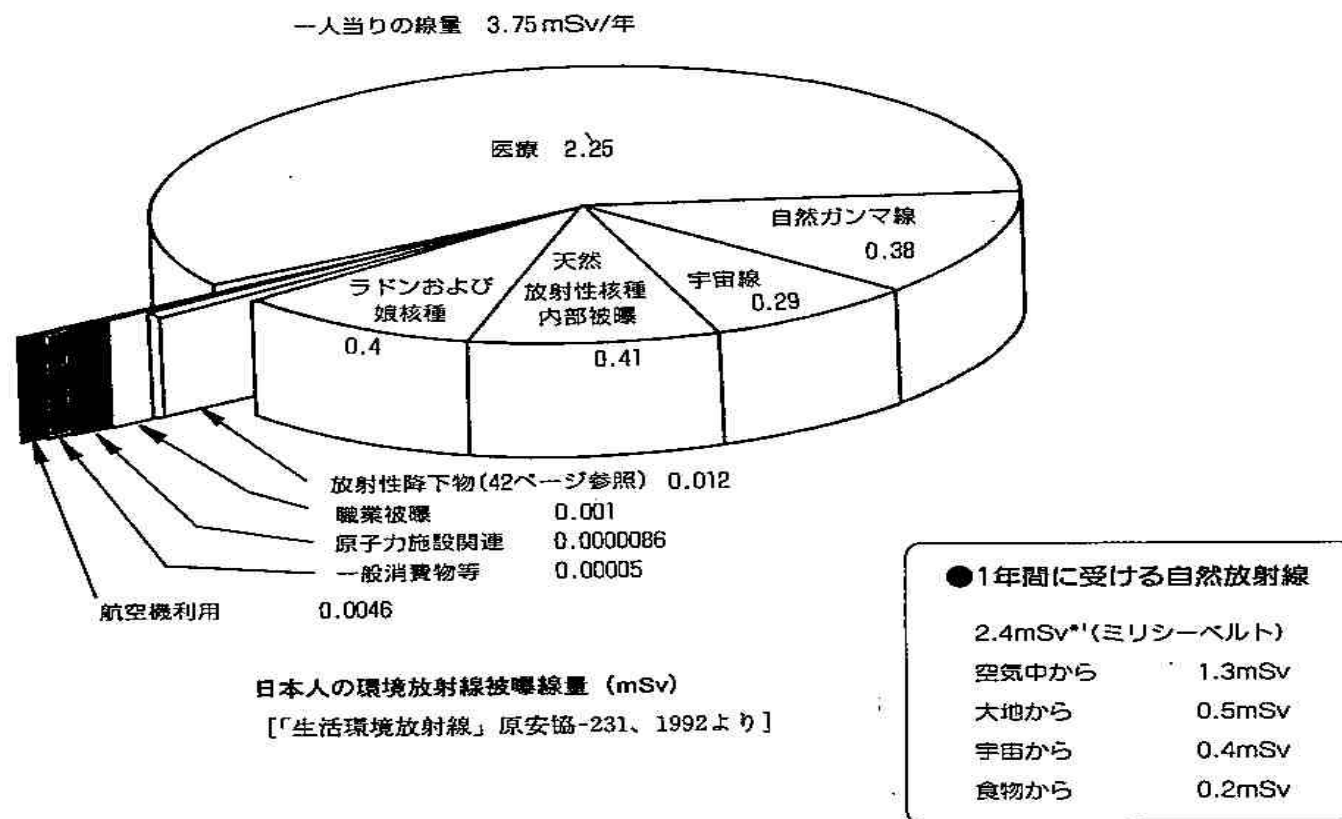
ガンマ線 0.38

宇宙線 0.29

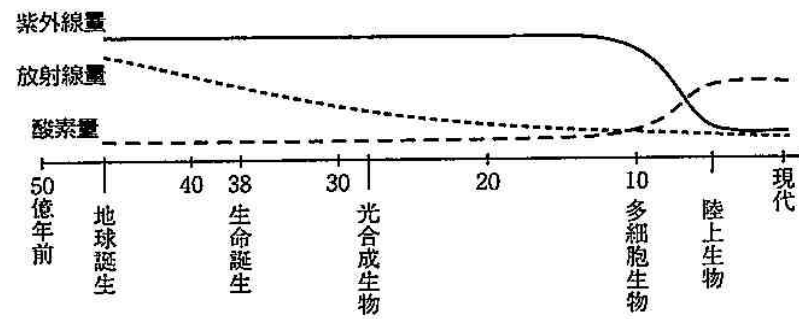
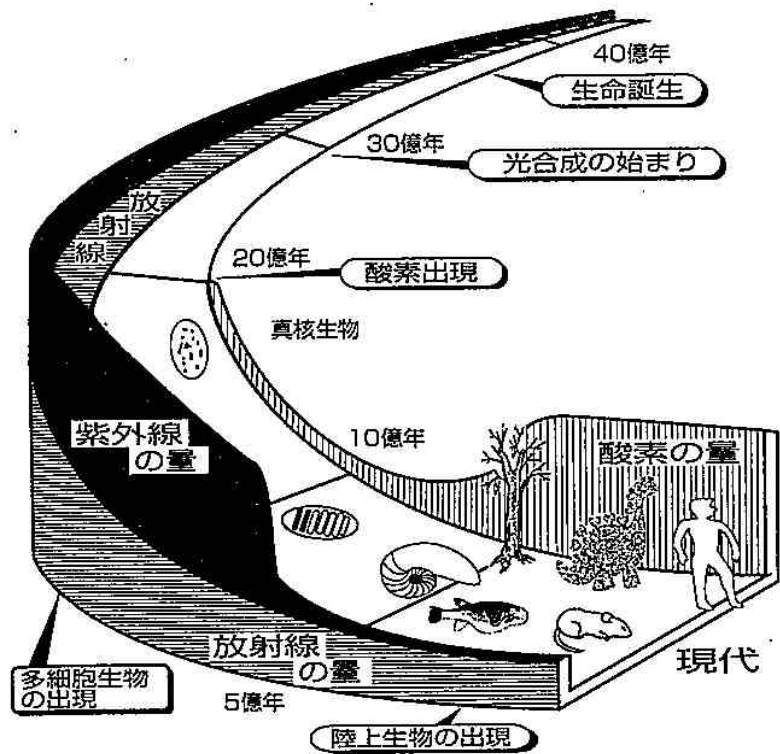
天然放射能 2.25

“自然”の世界平均 [UNSCEAR] 2.4 mSv/y




国民線量 (1980年代)の内訳

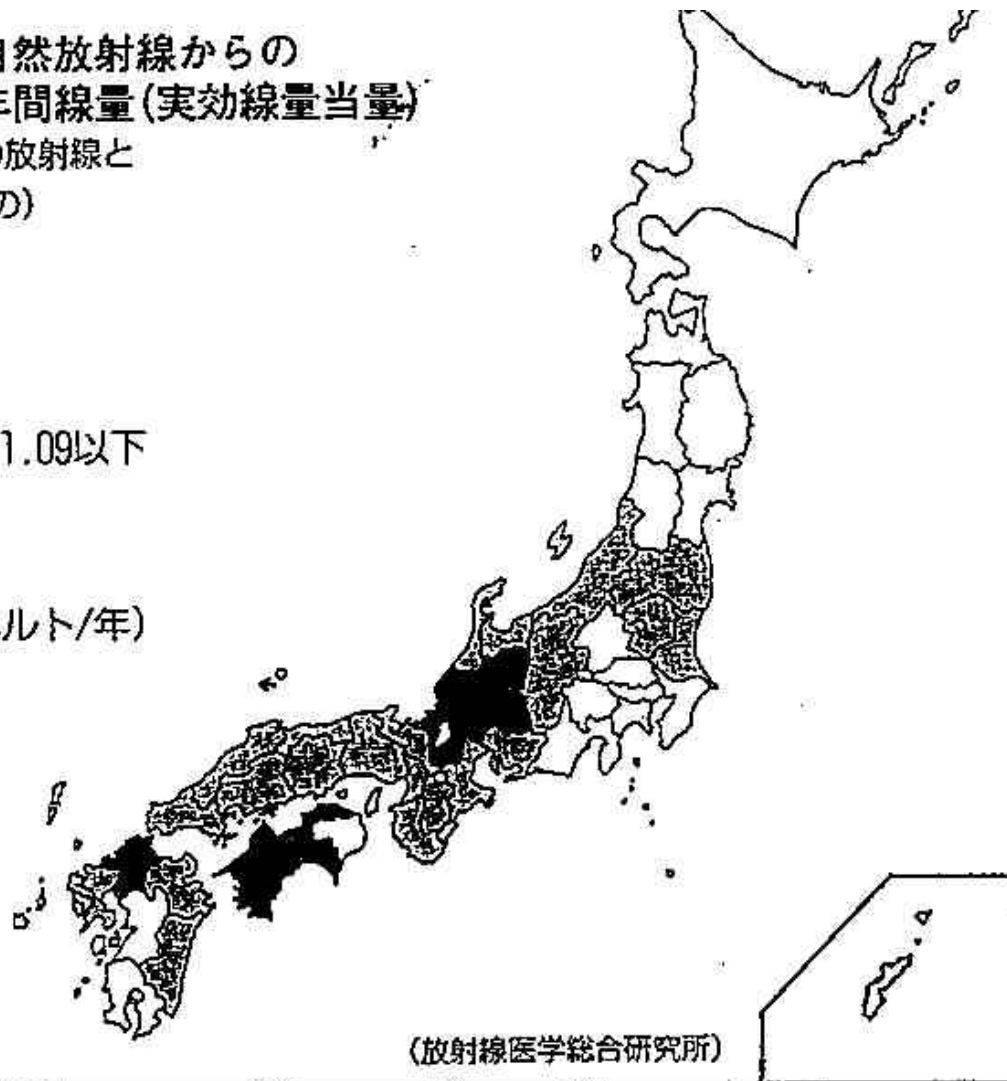


46億年の進化と環境の変化

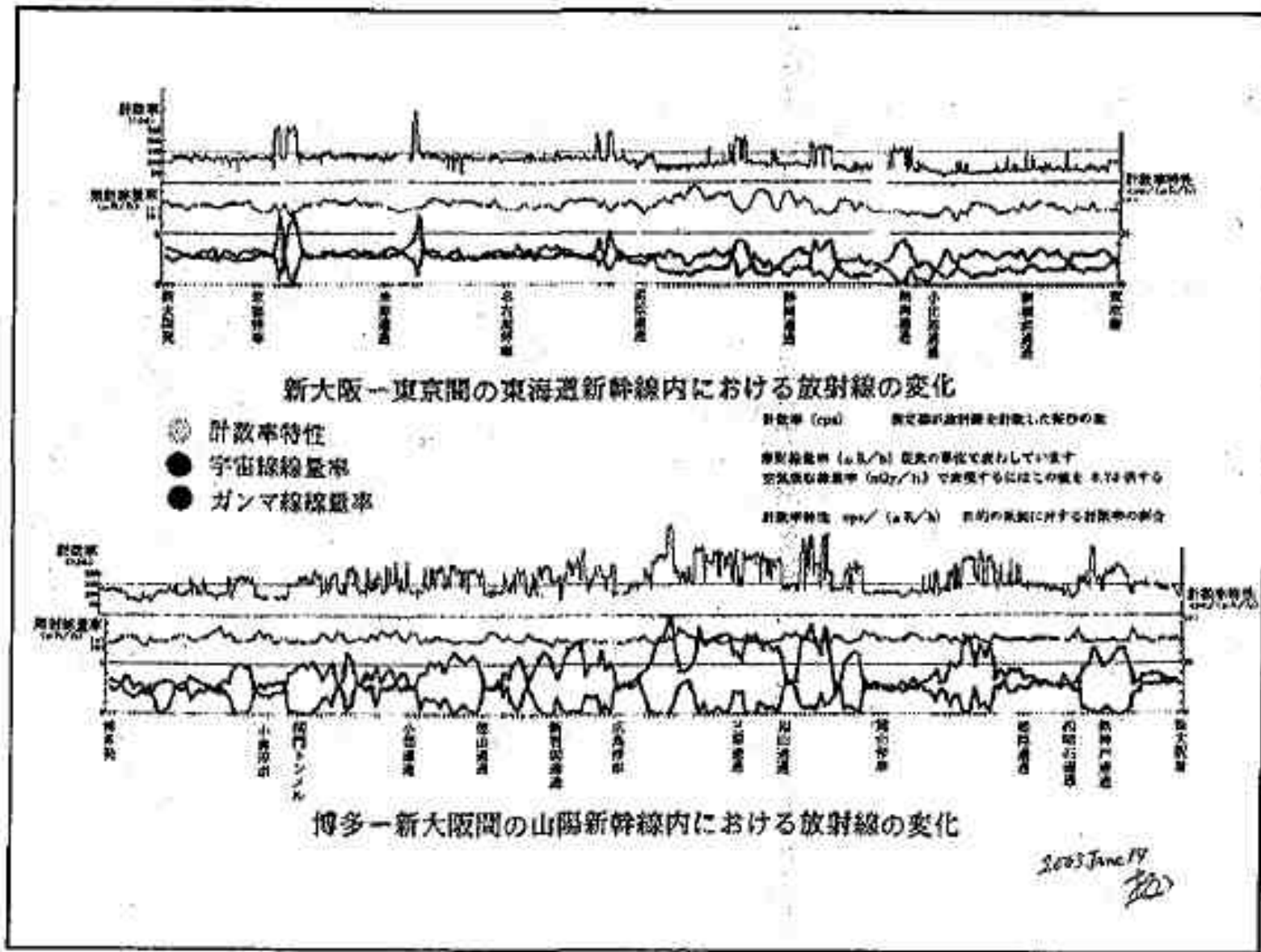


日本における自然放射線からの
1人あたりの年間線量(実効線量当量)
(大地、食物からの放射線と
宇宙線を加えたもの)

-  0.99以下
-  1.00以上~1.09以下
-  1.10以上
(ミリシーベルト/年)



全国自然放射線量



自然放射線と人工放射線

< 別紙資料3 >

PET検査の安全性

[向井孝夫教授(保物セミナー2004)]

被曝 患者, 術者, 一般公衆人

患者: 投与量 0.1mCi/kg

被曝 : 3 ~ 5 mSv

診断用CT: 30 mSv

PET/CT 低線量: 5 ~ 8 mSv

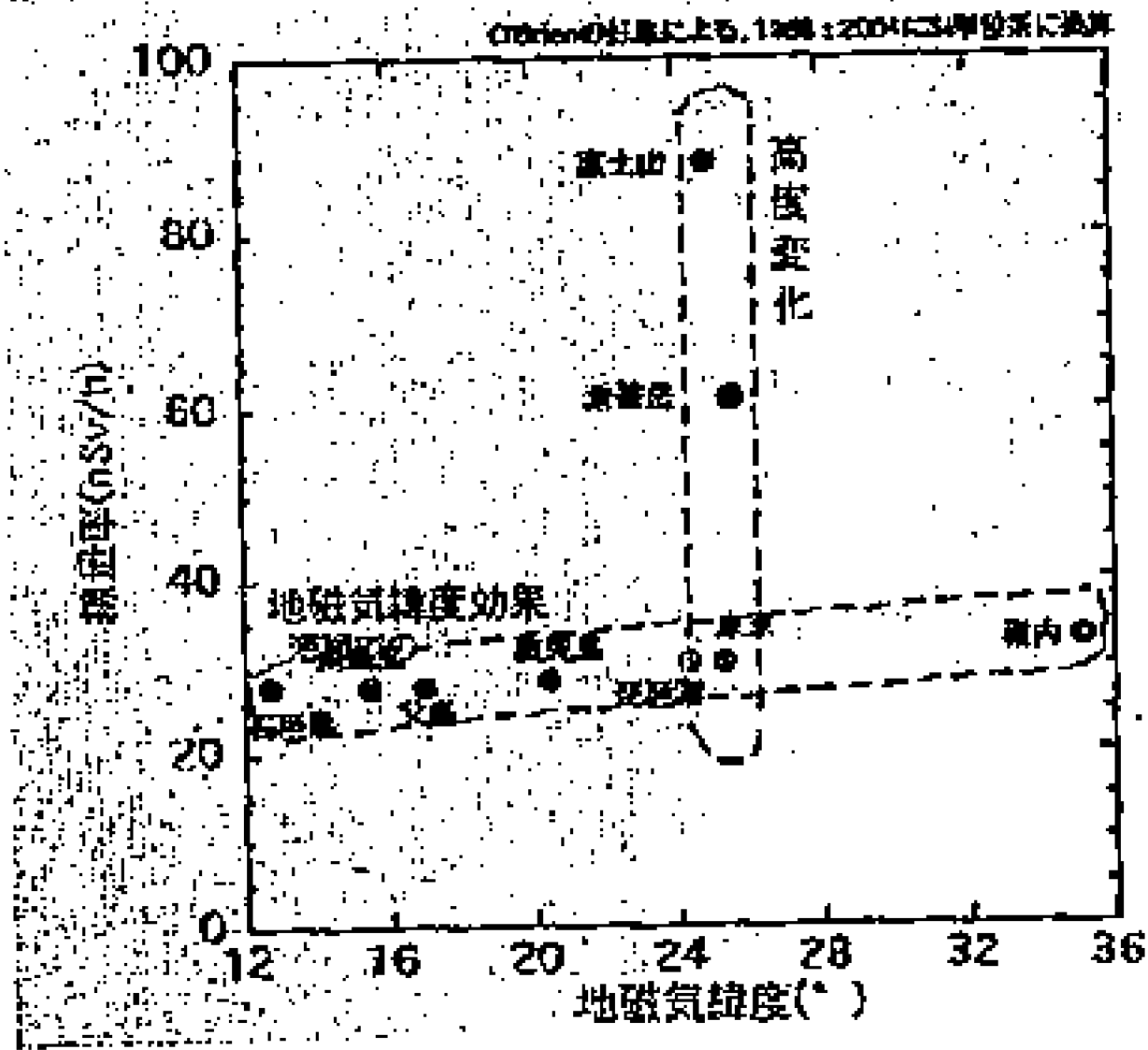
患者の待機室の基準 (1 mSv/w)

PET Center : 20人/day, ~ 200 mCi / day

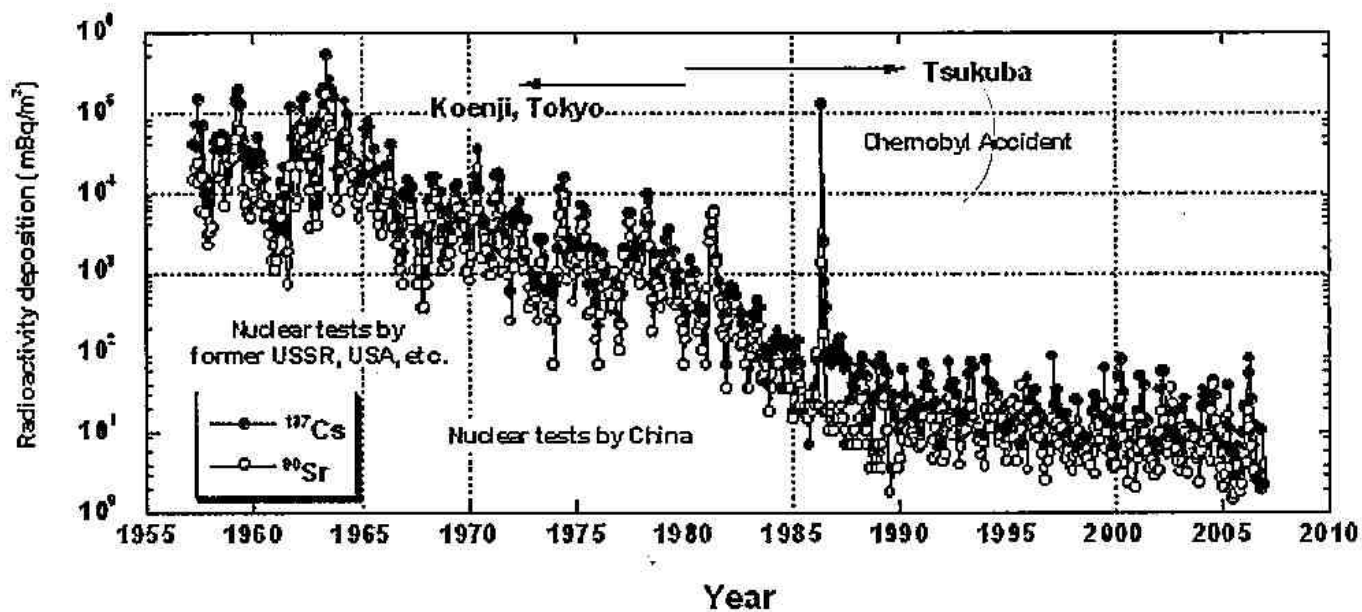
(参) 実効線量を 1 / 100 にするための遮蔽

^{99m}Tc : 140keV 2 mm 鉛 25 cm コンクリート

PET: 511keV 30 mm 40 cm

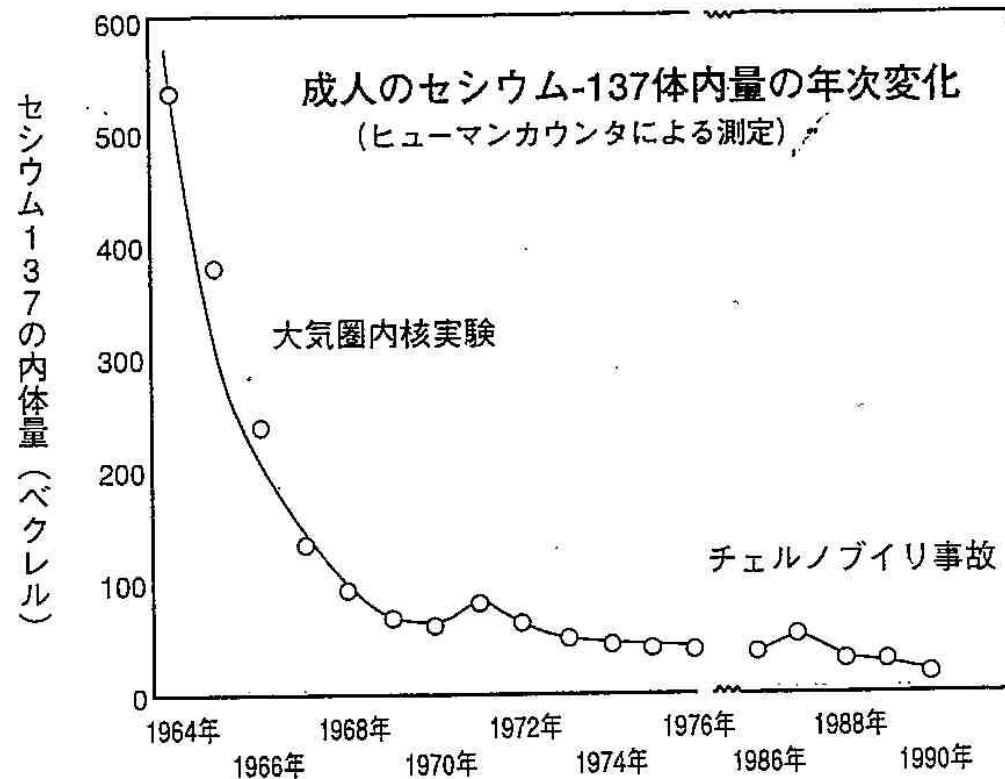


大気中放射能濃度の経年変化 (気象研究所の観測結果)



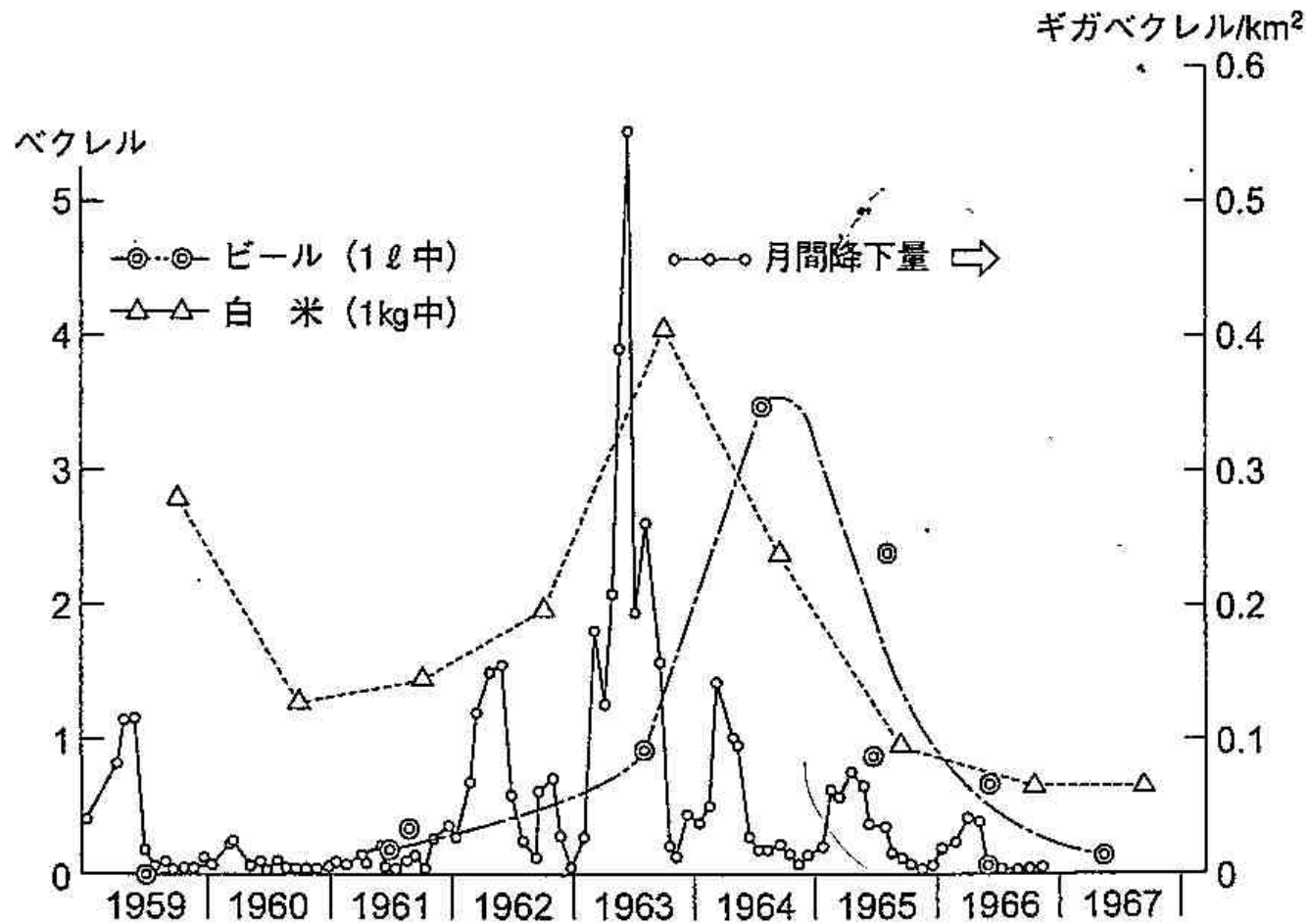
Monthly deposition time series for ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs at the Meteorological Research Institute since 1957 to the present time

日本人成人(60kg)のCs-137体内存在量の経年変化



内山正史：「ホールボディカウンティングと日本人の放射性セシウムによる内部被曝線量」放射線科学、Vol.34, No.6, P169-P170, 1991。
1986年以降のデータはセシウム-137とセシウム-134との和である。チェルノブイリ事故（1986年）の影響で1987年のセシウム-137の体内量は再び増加した。

日本産ビール、白米のセシウム137および月別降下量の変化



注) 1ベクレルは約27ピコキュリー、1ギガベクレルは 10^9 ベクレルである。

内山正史：セシウム-137の全身内部被曝に関する研究より

物理的半減期と生物学的半減期* の文献値

* カラダの生理作用(新陳代謝)による体外への排泄

	物理的		生物学的
• I-131	8.04 日	甲状腺	約120日
			その他の臓器 約12日
• Cs-137	30.1 年		約70 日
• Cs-134	2.06 年		約100~200 日
• Sr-90	30.1 年		50 年余

放射線被曝

“人間(やときに動物)がその身体に放射線を受けること” or “放射線の場に身体を曝すこと”をいう

放射線に被曝すると被曝の形態や量の違いに応じて健康に関わる様々の影響を受ける

放射線の種類や性質が同じであれば影響は同じであり、それは放射線源の違いには依らない

現行の放射線防護システム

- 原子力の平和利用開始に伴って1950年代後期に整備
- “国際放射線防護委員会(ICRP)の勧告に準拠”が国是
- 着目する影響
 - 確定的影響:線量に閾値を認めるが、蓄積性と仮定
 - 確率的影響:生命再生産の処方箋に生ずる傷の量に比例して“影響”発症と仮定 LNTモデル
 - DNA損傷と突然変異と染色体異常の間の量的関係の“真実” 実際上は“閾値”存在するといっている
- 対象:特定の放射線源の特定目的使用に限定 → 自然・戦争・災害・事故起因の放射線被曝は除外

放射線防護の目標

当初の認識：放射線障害とは防止できるもの

防護の目標：ICRP 1958に準拠

- － 確定的影響：“危険”の発現を絶対的に阻止
- － 確率的影響：“リスク(危険の可能性)”を一定限度以下に抑制

放射線防護の方策

“放射線”の使用を規制するのではなく、“**特定の放射線源**”の使用を規制することにより
国民を放射線の害から守る

職業人については実測に基づく**被曝線量**の
管理により安全を担保

一般人については空間線量(率)等の実測
に基づく“**環境保全**”により安全を担保

線量の種類と用途

種類	用途	単位
実効線量	確率的影響の制御	シーベルト
等価線量	確定的影響の制御	シーベルト
実用線量 (1 cm-, 3 mm-, 70 μm-線量当量)	実効線量、等価線量の“代用品”	シーベルト

- * 実効線量と等価線量は実測困難ゆえ測定は実用線量で
- * 実効線量が限度以下のとき等価線量が限度超えることはまずない
- * ミリ = 1 / 1,000, マイクロ = 1 / 1,000,000 (百万)

放射線防護のための管理基準

- 目標
 - 確定的影響: 発現の絶対的阻止
皮膚のヤケド、目(レンズ)の白濁、等
 - 確率的影響: 発現の実際的阻止
がんの罹患、奇形誕生、など
- リスクの管理目標 (年あたり)
 - 職業人: 最大で大略 $1 / 1,000$
 - 一般人: 最大で大略 $1 / 10,000$
- 線量 (実効線量で規定; 実用線量 “1cm線量当量” で測定) で表した管理基準 (年あたり) [確率的影響の制御]
 - 職業人: 最大 50 mSv/y ; 100 mSv/5y
 - 一般人: 1 mSv/y ; (特例: 5 mSv/y)

実効線量が上記職業人基準を越えないとき 確定的影響の発現は通常阻止される (実際は等価線量を用いて別途規定)

被曝の分類

管理下に在る放射線源による被曝

職業被曝

公衆被曝

医療被曝

管理下でない / 管理から外れた放射線源による被曝

自然放射線による被曝

事故による被曝

戦争に関連した被曝

平均寿命

- 平均寿命というのはゼロ歳における平均余命
- 日本人の平均寿命(平成22年)
 - 男: 79.59年
 - 女: 86.44年
- 実際には何時死ぬか?
- 命を脅かすもの “怖い” もの

実効線量の年限度 (管理基準)

単位:ミリシーベルト [mSv]

- 職業人 1年につき最大 *50*
5年間の平均で年当たり *20*
- 一般人 1年につき *1*
特別の場合 年間 *5*
- 自然(界にある)放射線から 1年に *約 1*
- (一度に全身に浴びたときの)致死量
約 7,000

公衆の構成員(一般人)の被曝

空間監視等により安全担保

一般人が関わる各種放射線場
[2011/03/10以前}→別紙資料4

3.11以降の放射線防護

- 別紙の田中俊一氏作成別紙資料5 参照
- “緊急時の管理”発令となったが
 - 対象や期間等の指示が不十分
 - (3.10以前の)環境放射線の寄与の扱いが不明確
 - 「職業被曝」「職業人」「一般人」の区分規定が不明確 ← 現行の制度設計では想定外？

測定器によって結果がばらつく原因

- 測定器が目指している使用目的の違い
測定対象放射線/目指している評価量/等
- 較正 (calibration 校正と書く人多し)
- 雑音・背景放射線の寄与
- 感度・測定可能領域・等、性能の違い
 - GM (ガイガー・ミュラー) 計数管
 - NaI 等のシンチレーション計数管
 - 電離箱
- 測定の方法
 - 地表からの高さ
 - 散乱線への配慮、等

放射線との付き合い方

- 放射線との付き合いなしには生きられない！
[国民線量の内訳を見よ！]
- 放射線は適切に怖がるのが肝心
 - 怖がり過ぎても怖がらな過ぎてもいけない！
- 放射線は無数にあるリスク要因の一つに過ぎない！
- 量の違いは質の変化をもたらす！
- ストレスは強力な“リスク要因”：適度のストレスは必要であるが過ぎると“猛毒”！
 - JCO事故やチェルノブイリ事故で知ったこと

便益の追求と危険の回避

- 上記は“本能的欲求”であり“基本的人権”！
- “危険の可能性”をリスクという
- “リスクの低減”も“便益”の1種
- “リスクの素”(リスク源)は無数(多種多様)
- 人は必ずいつか死を迎える
(但し死ぬのは1回だけ)
- 老衰 死：“加齢”もリスク要因

人類にとっての放射線

- 便益源: 文明を発展させる重要な“道具”
 - ノーベル賞(科学)の1 / 3は放射線に関係
 - 長寿命社会 ← 生活レベルの向上 / 医療技術
 - 個人にとっての食料 / 社会にとっての“食料”(= エネルギー)
- リスク源: リスクは危険の可能性であって危険そのものではない!

放射線についての安全と安心

- “定量”と“判定”にはそれぞれ“品質”の良否が付随するので、“安全か非安全か”など、“状態の規定”を二分法で行うときには“判定”を三分法で行う必要がある！
- リスク(危険が将来顕在化する可能性)が幾ら以下なら“安全”と割り切るか？
- 安全についての哲学を持ちそのための方策を知って納得することが安心に繋がる！

過ぎたるは猶及ばざるが如し
ご静聴ありがとうございました！

加藤和明

katoh-kazuaki@nifty.com

寿命と半減期

寿命とは、正確には「平均寿命」といい“0歳における平均余命”を意味する。

生まれた時の人数が毎年一定の割合で失われて行く場合（タイプⅠ）には、寿命を仮に80年としたとき、その割合は1年当り

$$1/160 = 0.00625 = 6.3 \times (-3)$$

$$(1/160) \times 160 = 1$$

となり、80年経過したところで人数が半分になる。

生まれた後、年齢に関係なく、生き残っている人数の一定割合で人数が失われて行く場合（タイプⅡ）には、“人数が半分になるまでの時間”（半減期）は一定となる。寿命80年のとき半減期は

$$0.693 \times 80 \text{年} = 55.44 \text{年}$$

となる（ $0.693 = \ln 2$ （自然対数の2））。

不安定な原子核（放射性核種）の場合は“タイプⅡ”であり、人間の場合はどちらのタイプでもない。

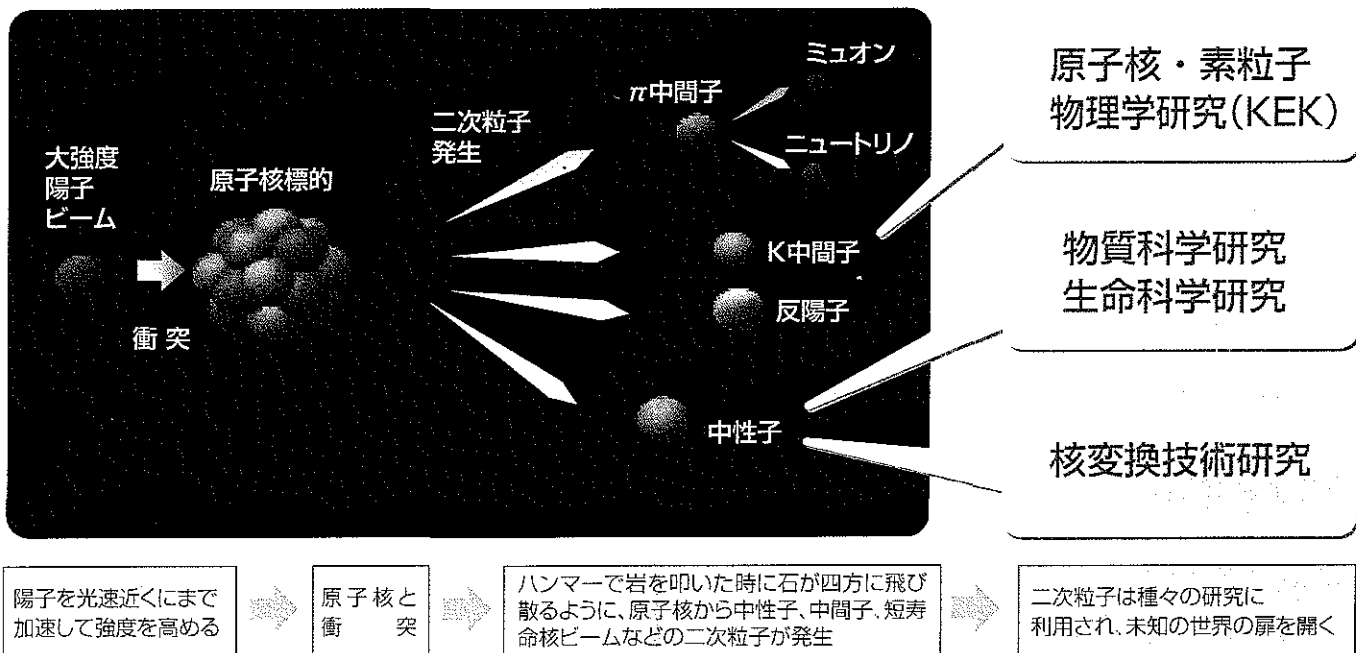
2010年(平成22年)の平均寿命

日本	女性	86.44年	(世界1位)
	男性	79.59年	(世界5位)

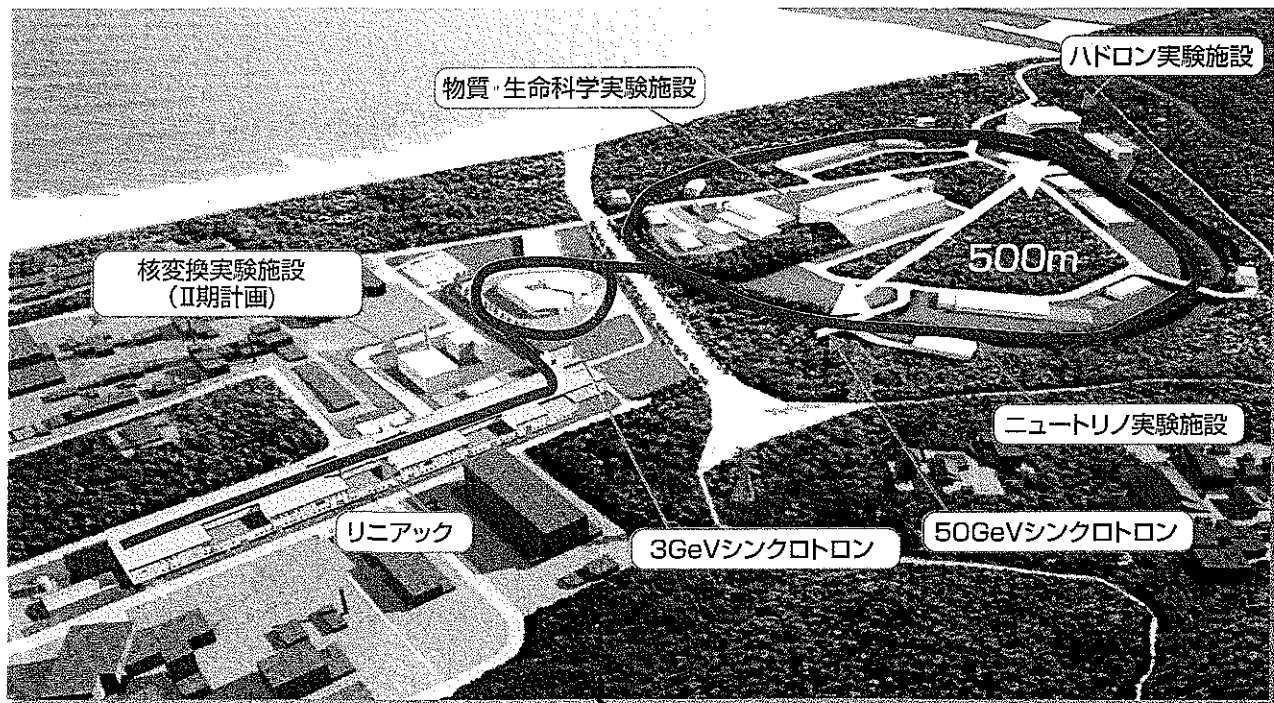
参考	女性の世界	2位	香港	86.1年
	男性の世界	1位	カタール	81.0年
		2位	香港	79.8年

原子力科学研究所では、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) と共同で世界最大強度の陽子加速器を建設・整備し、加速器施設から発生させた様々な量子ビームを利用して、新たな科学技術を拓く研究開発を行っています。中性子を利用した物質科学、生命科学、様々な産業応用、さらには原子力発電の使用済み核燃料を再処理する際に生じる高レベル放射性廃棄物の処理処分に役立つ研究開発まで、幅の広い展開が期待されています。

大強度陽子を用いて二次粒子を発生



大強度陽子加速器施設J-PARC配置図



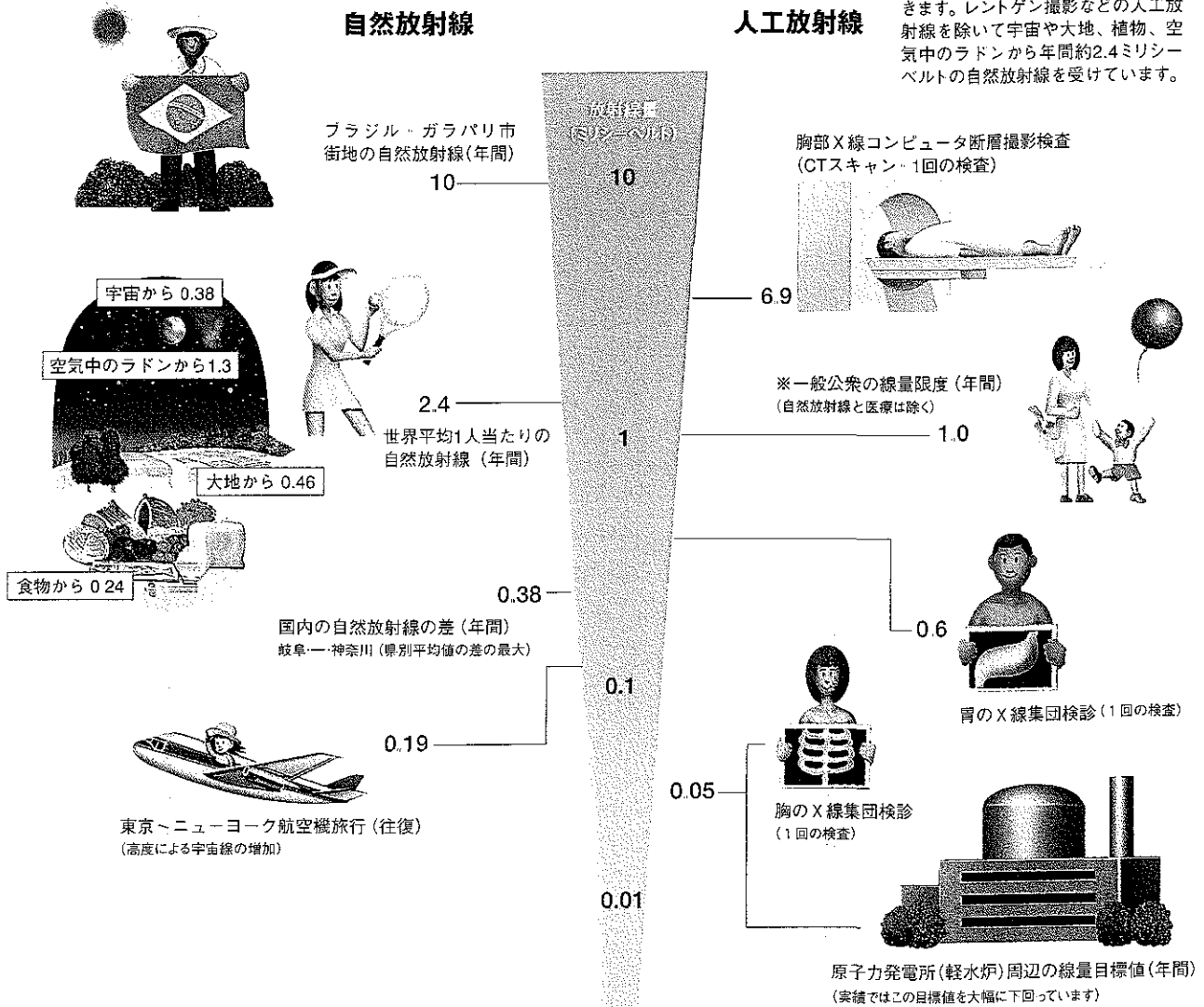
独立行政法人 日本原子力研究開発機構
東海研究開発センター

■ 自然放射線と人工放射線

私たちは、日常生活の中で、大地や宇宙、食物などから放射線を受けています。これを自然放射線といい、その値は世界平均で年間2.4mSv(ミリシーベルト・放射線が人体に与える影響を示す単位)程度です。自然放射線の量は、主にその土地の地質や環境によって大き

な差があります。日本国内でも場所によって自然放射線の量が異なります。この程度の放射線は体に全く影響ありません。一方、病院での治療や検診のためなどに放射線を受けることもあります。これを人工放射線といいます。

日常生活で受ける放射線の量



日常生活で受ける放射線は、自然放射線と人工放射線に分けることができます。レントゲン撮影などの人工放射線を除いて宇宙や大地、植物、空気中のラドンから年間約2.4ミリシーベルトの自然放射線を受けています。

放射線医学総合研究所等調べによる
 出典:資源エネルギー庁「原子力発電2000」

※ 個人及び集団全般が容認できるレベルに制限するために設定された放射線被ばく線量の上限值。わが国の法令では、自然放射線と医療における放射線を除き、職業人に対しては年間50ミリシーベルト(5年間で100ミリシーベルト)、一般公衆に対しては年間1ミリシーベルトと定めている。

放射線量、放射能の単位

	単位	記号	解説
放射線量に関する単位	グレイ	Gy	放射線が物質にあたったとき、その物質に吸収される放射線量を表す単位。
	シーベルト	Sv	生物が放射線を受けたとき、その影響を表す単位。
放射能に関する単位	ベクレル	Bq	1秒間に1個の原子核が壊れるような放射性物質の、放射能の強さを表す単位。

一般人が関わる各種放射線場の強さ

項目	線量(率) [用いている線量の種類]	備考
原子力発電所敷地境界における監視基準	0.05mSv/y 以下 [実効線量]	実績としては有意の検出不可のレベル
RI 等の放射性物質を送る場合の郵便小包みなどの線量率基準	表面：2mSv/h 以下 1m：0.1mSv/h 以下 [1cm 線量当量]	(放射能)標識をつけなくて良い L 型輸送物の場合は 0.005mSv/h 以下[1cm 線量当量]
(障防法に言う)管理区域の境界管理基準	1.3mSv/3 月以下 (=0.1mSv/w 相当) [実効線量]	内部被曝と外部被曝を合算
(障防法に言う)敷地境界管理基準	0.25mSv/3 月以下 [実効線量]	内部被曝と外部被曝を合算
RI 投与患者の帰宅許可基準	1m：0.03mSv/h 以下 [1cm 線量当量]	
3.7MBq (=0.1mCi)の Cf-252(*)が作る空間線量率	1m：0.003mSv/h 10cm：0.3mSv/h [1cm 線量当量]	(*)：非法定の RI
放射線発生装置の規制除外基準	10cm：0.0006mSv/h 以下 [1cm 線量当量]	0.0006mSv/h = 0.6 μ Sv/h = 600 nSv/h
原子力災害で首相が“緊急事態”を宣言する放射線のレベル	0.5mSv 以上 [実効線量]	
日本に住む人が 1 年間に自然から受ける外部被曝線量	約 1.0mSv/y [実効線量]	
ジェット機で東京—ニューヨーク間を往復した時に受ける放射線量	約 0.02mSv [実効線量]	
定期検診で通常受ける放射線量	胸部検査：約 0.05mSv/回 胃部検査：約 0.6mSv/回 [実効線量]	[皮膚表面の等価線量] 胸部：約 0.26mSv/回 胃：約 1.1mSv/回
一般病室の放射線レベル管理基準	1.3mSv/3 月以下 [実効線量]	
X 線診療室の天井・床および周囲の画壁の外側で、人が通行し、または滞在する可能性のある場所の放射線レベルに係る設置基準	1.0mSv/w 以下 [実効線量]	
低レベル放射性廃棄物の処分における第 4 段階(300 年後)時の環境放射線レベル設計目標	0.0015mSv/y 以下 [実効線量]	

平成 23 年 5 月 6 日 田中俊一

放射線被ばく量の基準について

国際放射線防護委員会(ICRP)は、2007 年の勧告で、人が受ける放射線の状況を3つに分類し、それぞれに被ばく状況での管理をする目安(参考レベル)を示している。

○ 緊急時被ばく状況

ICRP は、今回の事故のように大量の放射性物質が環境に放出された場合は、被ばく量が年間 20~100mSv/年の範囲に収まるようにする目安(参考レベル)を提案している。

一方、我が国の原子力防災指針では、50mSv 以上の被ばくの可能性がある場合は避難、10~50mSv の被ばくの可能性がある場合は、屋内待機とされており、20 km圏内の避難、30km圏内の待機はこの指針に基づいている。

○ 現存被ばく状況

ICRP は、緊急避難区域から外側にありながらも、放射能に汚染された環境で生活する場合には、被ばく量が年間1~20mSv/年の範囲に収まるようにする目安(参考レベル)を提案し、長期的には1mSv を目指すべきとしている。

飯舘村などの計画的避難区域は、来年 3 月 11 日まで現在の地に留まって生活を続けた場合、積算線量が 20mSv を越えることになるという予測に基づいて避難の判断がなされている。避難はしないが、福島市や郡山市も通常よりかなり高い放射線量が観測されているので、現存被ばく状況にある。

(3) 計画的被ばく状況

平常時に放射性物質の管理ができている場合で、公衆の被ばく量は1mSv 以下にする。

日本は、ICRP2007 年勧告を未だ国内法に取り入れていないが、原子力安全委員会は、ICRP の勧告を基に、現存被ばく状況での参考レベルを年間 20mSv とし、政府は計画的避難区域を設定した。

なお、学校での被ばく限度を年間 20mSv とする原子力安全委員会の判断を根拠に文部科学省は、行動パターンを仮定して、 $3.8 \mu\text{Sv/h}$ の線量率を屋外での滞在時間の目安と決めている。しかし、子供や妊婦は放射線に対する感受性が高いとされており、実際の被ばく量を下げる努力(除染)を早急に実施すべきである。