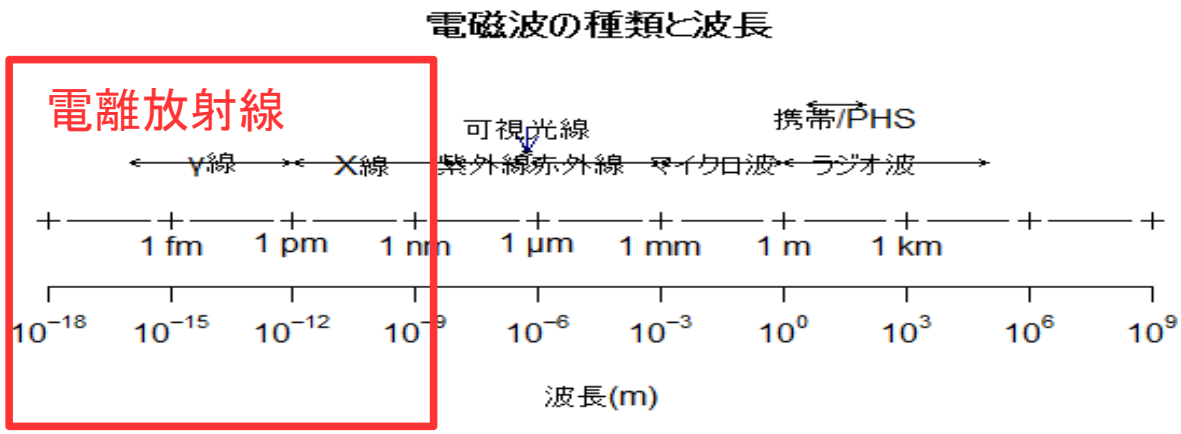
放射線

- 粒子線と電磁波を総称して放射線と呼ぶ
  - 粒子線はα線(ヘリウム原子核), β線(電子), 炭素線等
  - 電磁波は光子の波でX線, γ線, 紫外線, 可視光線, 電波等
- 放射線には電離放射線と非電離放射線がある
  - 物質を通過する際に物質から電子を放出させる放射線を電離放射線と呼び, X線, γ線, α線, β線等, 一般に放射線という言葉で想像されるのはこちら。電磁波は波長が短いほど生体影響が強い
  - 紫外線より波長が長い電磁波は非電離放射線



放射線	粒子	必要遮蔽	空中飛距離
α線	He4 原子核	紙1枚	数cm
β線	電子	薄いアルミ板	数十cm
γ線	光子	厚い鉛板	数百m

電離放射線の基礎知識

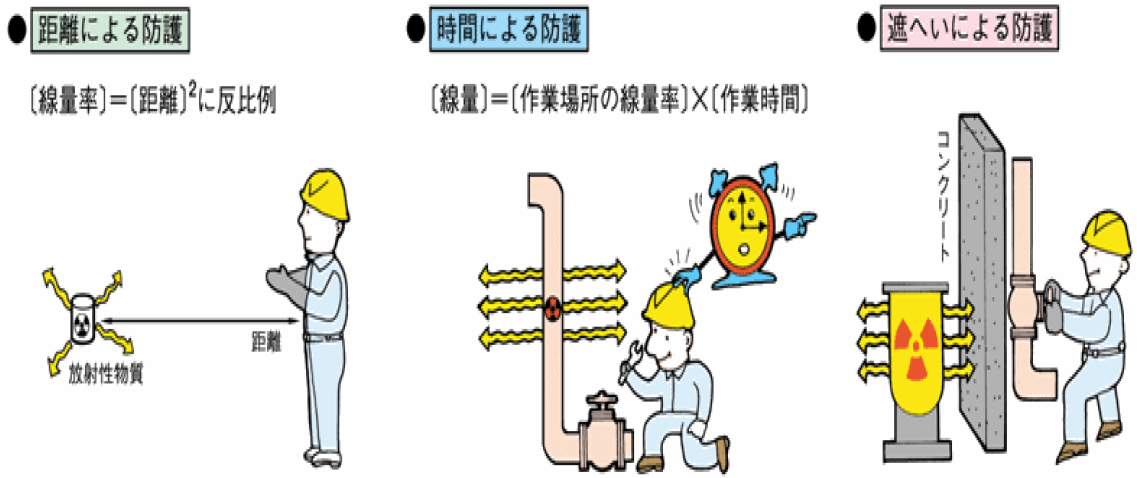
- 放射能：物質が放射線を発する能力。単位ベクレル(Bq)。1秒間に崩壊する原子の個数
- 放射線の強さ：照射された物質1 kgに1 Jのエネルギーを発生させる**吸収線量**を1 **Gy（グレイ）**
- 吸収線量 × **生物学的効果比Q（α線20, β線, γ線, X線1）**＝生体影響の評価に用いられる**実効線量Sv（シーベルト）**
- 自然放射線曝露は場所により異なるが平均2.4 mSv/年
- **α線**は空中での飛程が短いため，**プルトニウム**を摂取してしまった場合などの**内部被曝**で問題になる。**ヨウ素**や**セシウム**や**ストロンチウム**からの**β線**も内部被曝の問題あり。（放射性物質が雨などで流れて溜まる場所がホットスポットになることがある）
- 日本では福島原発事故後，複数の測定点でモニタリングされている
→原子力規制委員会「放射線モニタリング情報ポータルサイト」
https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/

放射性物質の放射能(Bq)の測定

- 農水省研修資料（平均値の標準誤差を「不確かさ」と表記するなど、統計用語が独特）
https://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/data_reliance/maff_torikumi/pdf/rad_kensyu.pdf
- 放射性物質の種類によって放出される放射線が異なる
  - $^{131}I \rightarrow {}^{131}Xe^{*}$ + β線 → ^{131}Xe + γ線（半減期約8日）
  - $^{137}Cs \rightarrow {}^{137m}Ba$ + β線 → ^{137}Ba + γ線（半減期約30年）
  - $^{90}Sr \rightarrow {}^{90}Y$ + β線 → ^{90}Zr + β線（半減期約28.8年）
  - $^{239}Pu \rightarrow {}^{235}U$ + α線（半減期24100年）
  - $^{238}U \rightarrow {}^{234}Th$ + α線（半減期45億年）
- ゲルマニウム半導体やヨウ化ナトリウムシンチレータはγ線検出器なので、α線やβ線しか出さない放射性物質は測定できないが、γ線を出すなら極微量でも測定できる
  - 放射性物質の種類ごとに放出されるγ線のエネルギー(eV)が異なるので、種類ごとの濃度(Bq/Kg)を測定できるようにした機械（γ線スペクトロメータ）を使う
  - 放射能濃度等測定方法ガイドライン（第2版、環境省、2013年3月）
https://www.env.go.jp/jishin/attach/haikihyouka_kentokai/16/mat02_2.pdf
- ^{235}Uや^{90}Srは元々含まれている他の核種を分離しないと定量できない
- 空間放射線（主にγ線＝そちらは空間線量の測定になる）を遮蔽しないと食品などの放射能が測れない
- 比較的長い時間の測定が必要
  - ストロンチウム測定には1ヶ月, ウラン測定には1週間必要

放射線防護の3原則

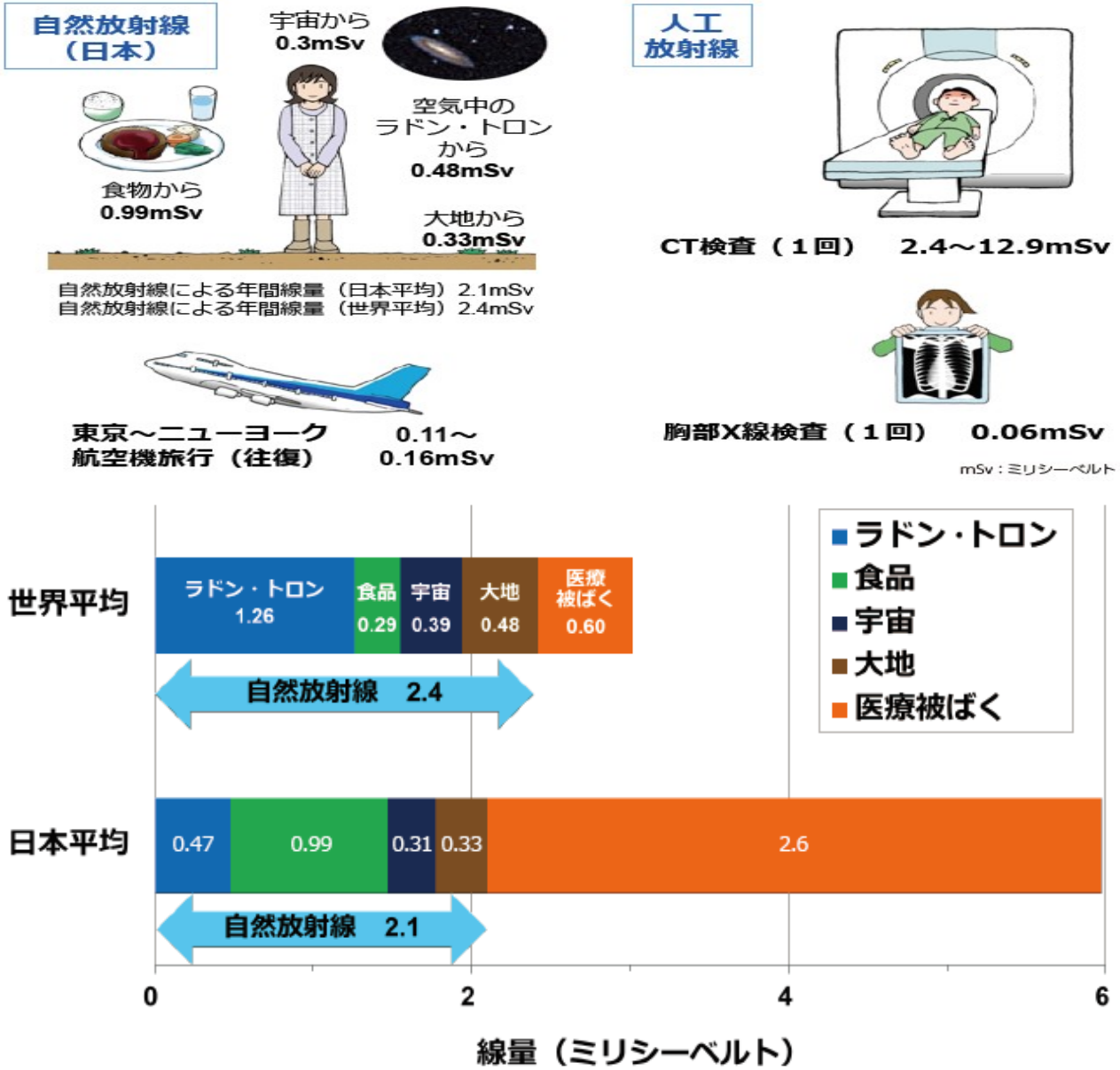
- https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_09-04-01-09.html
（放射線健康管理学における外部被ばく防護の3原則）
  - 距離(shield)：放射線源と作業者との距離を離すことにより、作業時における空間線量率を低減
  - 時間(time)：作業者が放射線に曝されている時間を短縮することにより被ばく線量を低減
  - 遮蔽(distance)：放射線源と作業者の中間に遮へい物を設置することにより被ばく線量を低減
  - 優先順位は遮蔽＞距離＞時間



- https://www.env.go.jp/chemi/rhm/h30kisoshiryo/h30kiso-04-01-07.html
（ICRPによる防護の3原則）
  - 正当化：放射線を使う行為は、もたらされる便益（ベネフィット、メリット）が放射線のリスクを上回る場合のみ認められるという大原則。緊急時にも適用される
  - 防護の最適化：放射線を伴う行為のメリットが放射線のリスクを上回る場合は、「合理的に達成可能な限り被ばく量を減らして」(**A**s **L**ow **A**s **R**easonably **A**chievable = ALARA原則)放射線を利用
  - 線量限度の適用：放射線作業（緊急時の作業を除く）を行う**職業人の実効線量の限度は5年間で100mSv、特定の1年間に50mSv、一般公衆の場合実効線量限度が年間1mSv。**但し受診者の便益を損なわないため**医療被爆は適用外**

日常生活における放射線被ばく

https://www.env.go.jp/chemi/rhm/portal/digest/healthcare/detail_003.html

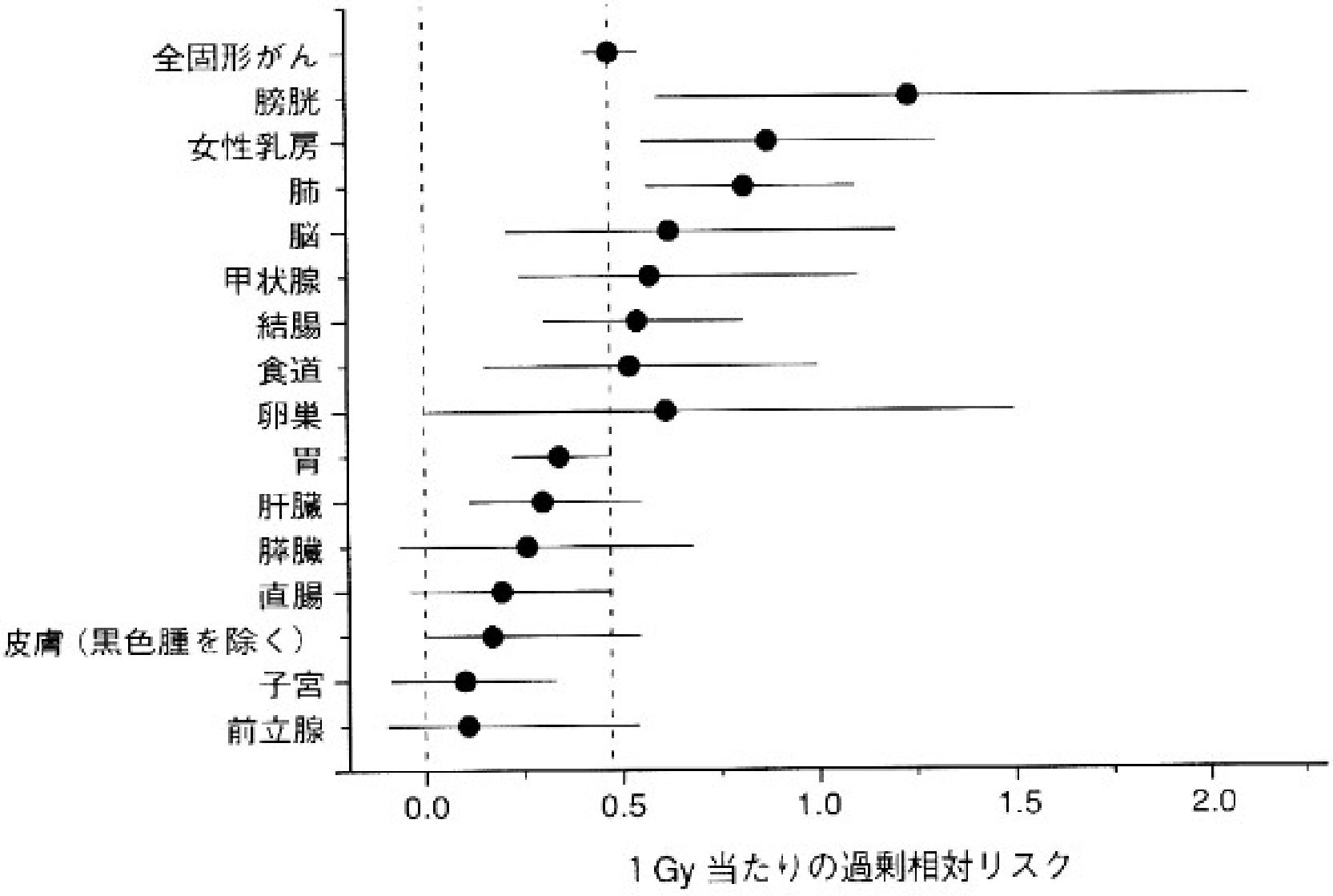


電離放射線の生体影響

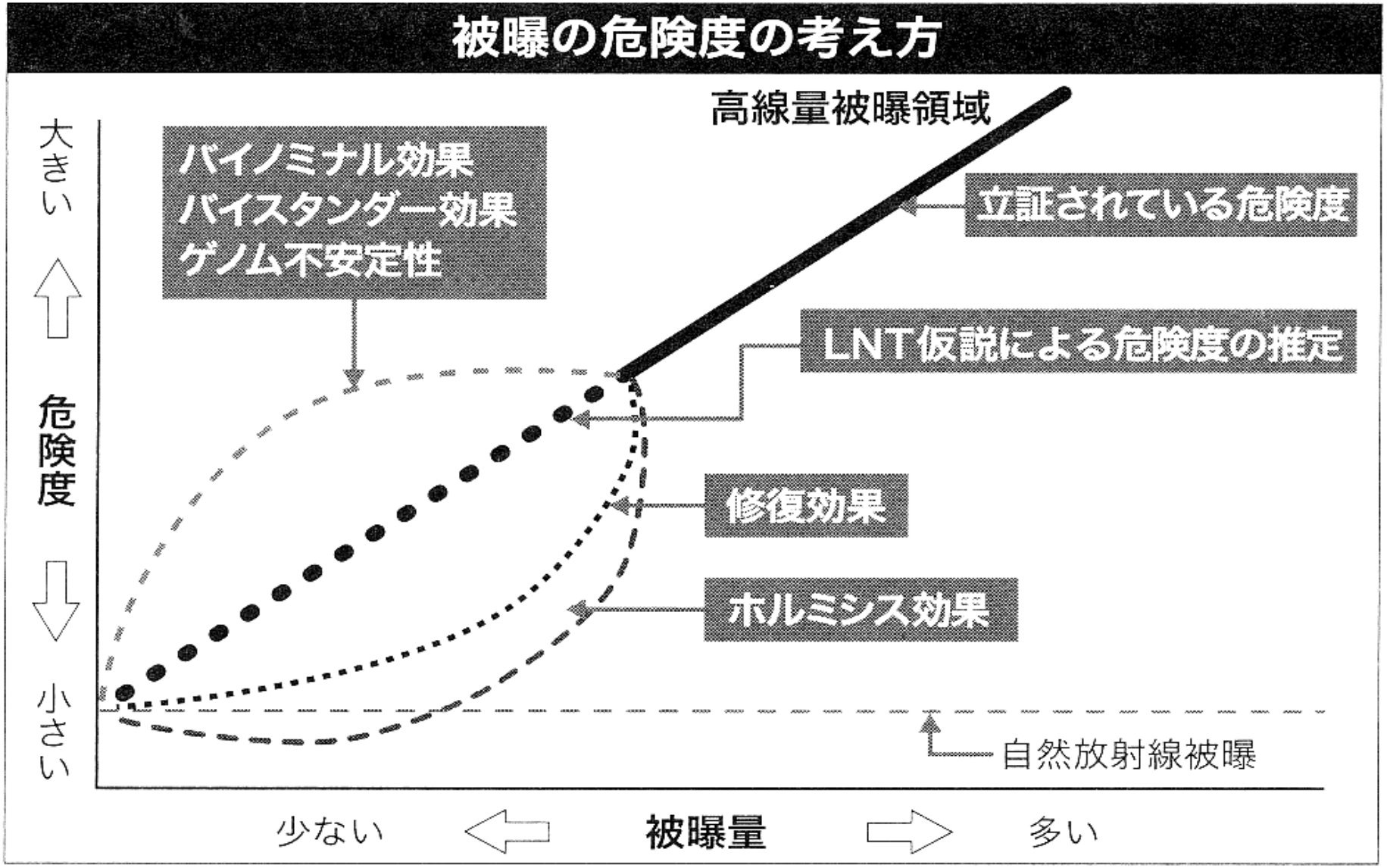
- 早発影響（早期影響）
  - 主に1 Svより高い実効線量で問題（東海村事故作業員のケースなど、一時的に回復したように見えても致命的な場合が多い）
  - 下記は大島、松田監訳、斎藤一郎訳『宇宙医学』同文書院, 1986, p.39を改変

    [< 1.2 Sv] 5-10%に嘔吐や悪心（約1日）
    [1.3 – 2.2] 嘔吐と悪心（約1日）、続いて25%に放射線症状
    [2.7 – 3.3] ほぼ確実に嘔吐と悪心、続いて放射線症状。20%は2-6週以内に死亡
    [4 – 5] 嘔吐と悪心、続いて放射線症状。50%は1ヶ月以内に死亡
    [5 – 7.5] 4時間以内に嘔吐と悪心、続いて放射線症状。ほぼ100%死亡
    [10 Sv] 1-2時間以内に嘔吐と悪心、続いて放射線症状。回復はほぼない
    [50 Sv] 直ちに活動不能となり1週間以内に死亡
- 晩発影響（後期影響）
  - 被爆者追跡データから, 100mSvの曝露で発がんリスクが有意に上昇（次のスライド参照）。
  - Chernobyl事故後の小児甲状腺がんはヨウ素131の内部被曝で有意に上昇。100mSv以下では諸説あり（次の次のスライド参照）。
  - Chernobyl事故で胎児被爆した子供の白血病リスクも有意に上昇した（Petridou E et al., *Nature* 1996. https://doi.org/10.1038/382352a0）

長崎・ヒバクシャ医療国際協力会（編）『21世紀のヒバクシャ』長崎新聞新書, p.122より、被爆時年齢30歳（男女平均）の人が70歳に達したときの1 Gy当たりの部位別がん発生率の過剰相対リスク（相対リスクから1を引いた値、横線は90%信頼区間）



小出裕章『原発のウソ』扶桑社新書、p.73より



牧野淳一郎『被曝評価と科学的方法』岩波書店, 2015年, p.22

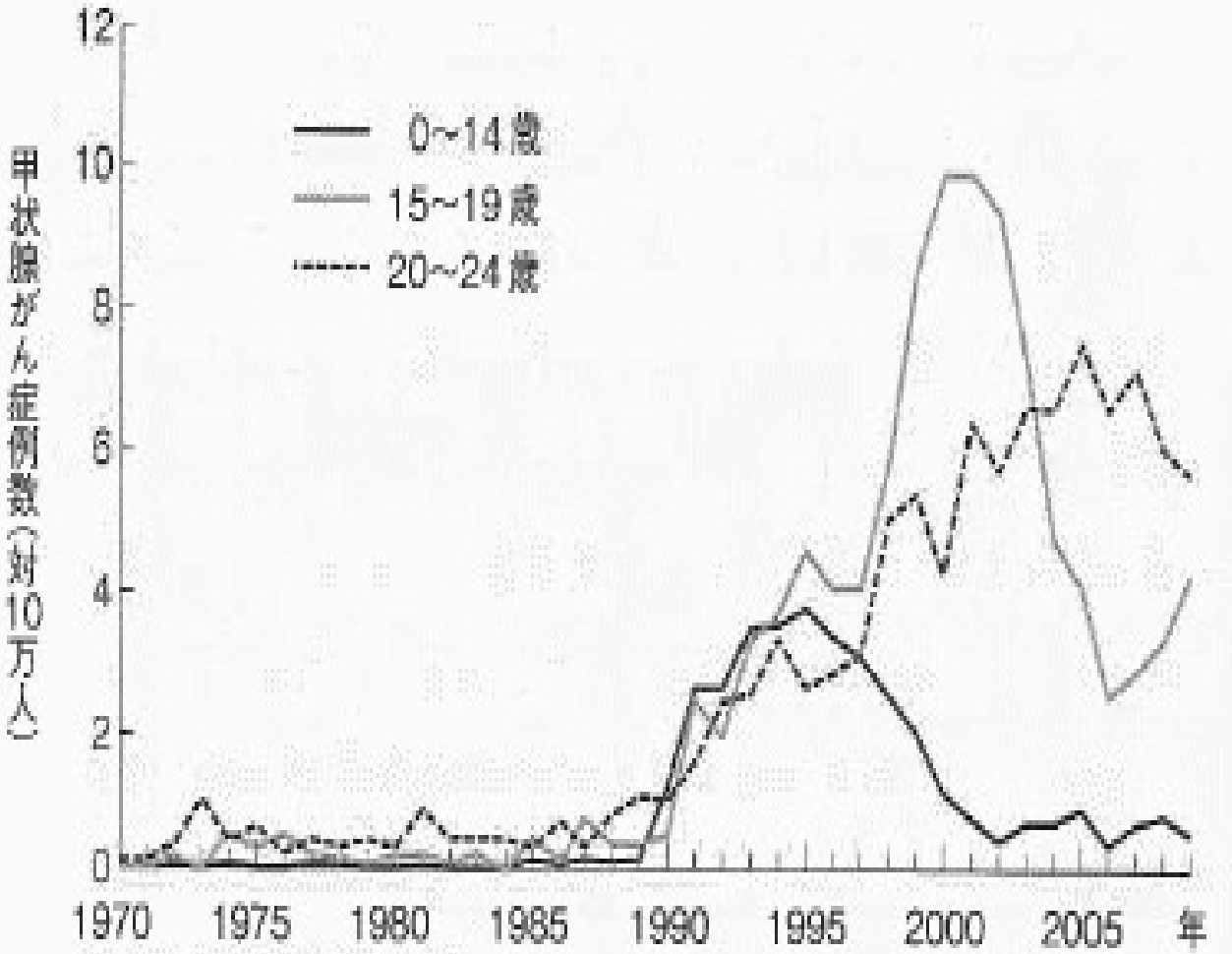


図2.2 ベラルーシにおける甲状腺がんの発生率の時間変化(Demidchik et al.(2012)による)

原図は https://dx.doi.org/10.5772/25782

田崎晴明『やっかいな放射線と向き合って暮らしていくための基礎知識』朝日新聞社, 2012年, p.19

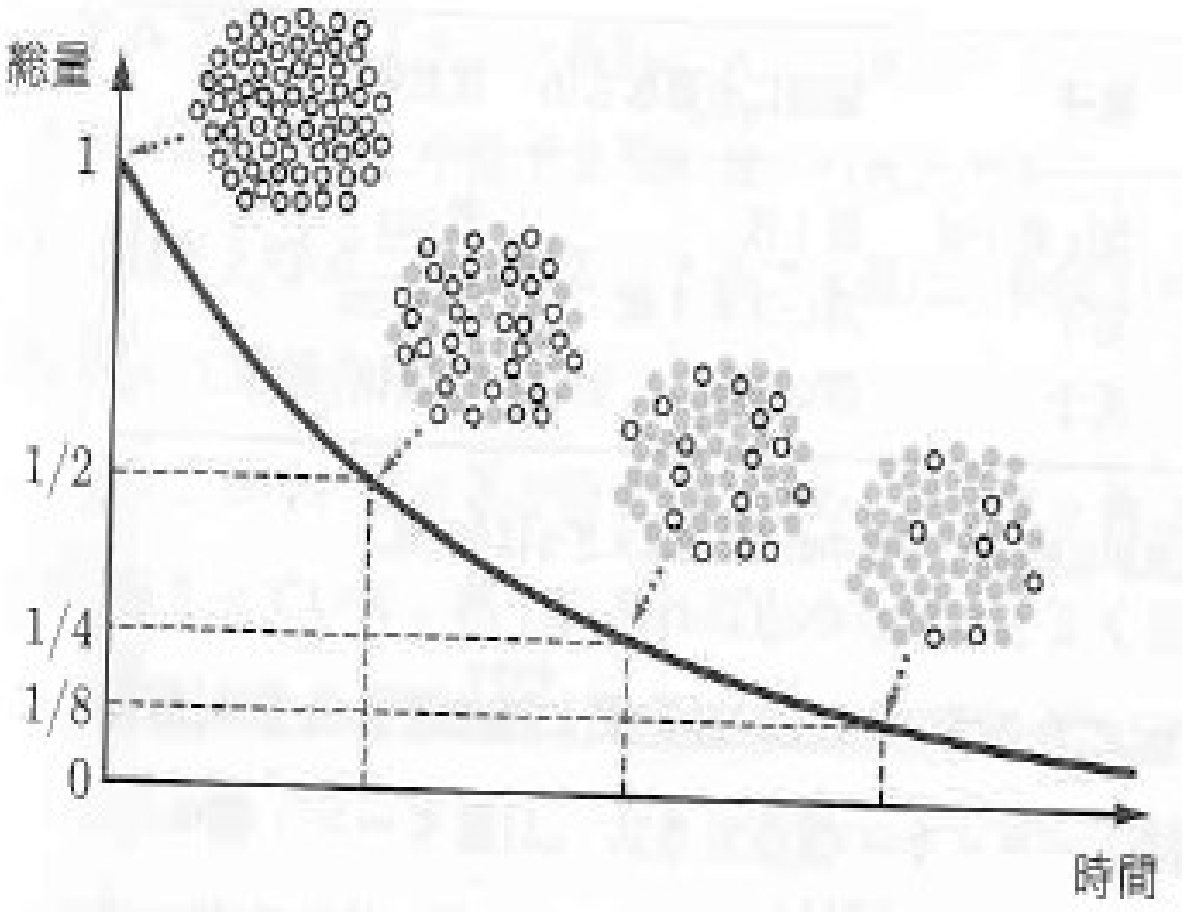


図 2.6　放射性物質の総量の減り方を表わすグラフと模式図。白丸が不安定な原子核、灰色の丸が崩壊してできた安定な原子核を表わす。はじめ放射性物質の総量が 1 だったとして、時間が経った後の量をグラフにした。ちょうど半減期だけの時間が経てば、総量は 1/2 になり、さらに半減期だけの時間が経つと 1/4 になる。

https://www.gakushuin.ac.jp/~881791/radbookbasic/ から現在ダウンロードできる本のファイルとしてはp.22に掲載されている

非電離放射線(1) 紫外線(UV = Ultra-Violet ray)

- 波長10～400 nmの電磁波を紫外線(UV)と呼ぶ
  - 地表に到達する190～400 nmのUVを長波長から順にUV-A（～320）, UV-B（～280）, UV-Cに分類
  - 10～190nmは地表に到達しないので真空紫外線と呼ばれる。地表に到達した紫外線は雪上では75%反射され曝露が増加
- 290nmより短波長のUVは生体障害性が強いがオゾン層で吸収される
- 皮膚や粘膜で吸収されるので障害は皮膚や目に現れる
- DNA上のチミン同士に結合を形成させチミンダイマーが発生, 皮膚がんハイリスク。チミンダイマー除去のためのSOS修復も突然変異確率を上げる
- **UV-C：細胞障害性**。250～280nmが強力で殺菌に利用される（水銀灯の主波長は254nm。点灯下での作業禁止）。電気性眼炎の原因
  - ウシオ電機と神戸大学で222 nmによる殺菌効果と安全性確認 https://www.kobe-u.ac.jp/research_at_kobe/NEWS/collaborations/2020_08_13_01.html
- **UV-B**：殺菌効果はUV-Cより弱。微小血管拡張による紅斑形成作用強。290～320nmのUV-Bは**プロビタミンDから皮膚でのビタミンD生成に必要**（ただし動物性食物から補給可）
- **UV-A**：メラニン形成による**日焼け**, 光化学オキシダント生成, **白内障**（組織浸透力が強く水晶体に達するため）に関与

非電離放射線(2) 可視光線と赤外線

- 可視光線 (visible ray) → ヒトの視覚（次スライド参照）に認識される電磁波
  - 波長約400～700 nmの電磁波。短波長側から紫, 青, 緑, 黄, 赤と感知される。
  - 照度（lx）＝光束(lm)／面積(m^2)＝光度(cd)／距離(m)の2乗
  - 安全歩行は20 lx, 作業面は100 lx以上必要
  - 空気の分子によるレイリー散乱(Rayleigh scattering)により昼の青空, 夕焼けの赤, 赤い皆既月食(blood moon)が見られる
    https://www.spc.noaa.gov/publications/corfidi/sunset/
- 赤外線 (infrared ray)
  - 波長約700 nm（=0.7 μm）～ 1000 μm。物質に吸収されて発熱させる<u>熱線</u>
  - 近赤外線（0.7～2.5μm; リモコン等に利用）, 中赤外線（2.5～4μm）, 遠赤外線（4～1000μm）
  - 表皮から1～1.4mmの皮下組織に到達。白内障リスク因子

ヒトの視覚と可視光線

- 目の角膜と水晶体を通った可視光線は網膜に届き，桿体細胞と多くの人では3種類の錐体細胞（S型，M型，L型）が反応
  - 桿体細胞は弱い光にも反応するが，視物質が1種類だけなので色識別はできない
  - S-錐体，M-錐体，L-錐体は吸光スペクトル分布が異なり，網膜神経節でL+Mの輝度チャネル，L-Mの赤-緑チャネル，S-(L+M)の青-黄チャネルに情報が加工されて脳に送られ，脳が心理的に色を認知する
  - アノマロスコープがゴールドスタンダードな色覚測定法（だが日本には少ない）
  - かつて石原表で単純に色覚異常認定されていたより実際は連続的かつ複雑で，色覚多様性と考えた方が良い
  - 色覚について詳しくは，川端裕人(2020)『「色のふしぎ」と不思議な社会：2020年代の「色覚」原論』筑摩書房を参照

ヒトの視覚の検査

- 健診の視力検査は水晶体の屈折能と形態知覚（分解視力）を調べる
  - 500 lxの明条件で，5 mの距離でランドルト環の開いている向きを弁別するか，それを電子的に代用する装置で検査
    https://doi.org/10.2150/jieij1917.49.2_73
  - 0.8-1.2が正常域とされる（人間ドック学会は1.0以上が正常としている。自動車免許は裸眼・矯正を問わず両眼0.7以上）。狩猟採集民には3.0や5.0の人が珍しくない
    https://www.ningen-dock.jp/public/method#eye
  - VDT作業者には50 cmの距離の検査も行う
  - ドライアイ対策として実用視力検査（平均値による）も提案されている
    https://doi.org/10.11432/jpnjvissci.37.75
- ヒトの視覚は生後発達し感受性期間があるので，早期の視力検査によって屈折異常や乱視を見つけ，眼鏡等で補正することが重要とされる
  - 3歳児健診で裸眼で0.5以上をpass
    https://doi.org/10.4263/jorthoptic.039S201
  - 『園医のための眼科健診マニュアル』日本眼科医会，2019年
    https://www.gankaikai.or.jp/school-health/20191015_eni_manual.pdf

非電離放射線(3) 電波＝ラジオ波とマイクロ波

- **ラジオ波(radio wave)は波長が1 mより長い**（＝300 MHzより周波数が低い）
  - 数MHz～80MHz程度のラジオ波はMRIで利用
  - 生体影響は高エネルギーの場合のみ
- **マイクロ波(=microwave)は波長が1 mm～1 mの範囲なので, 300 GHz～300MHz**
  - **総務省の区分では, 1～10mmがミリ波, 10～100mmがマイクロ波, 100mm～1mが極超短波（UHF：地デジ, 電子レンジ）**
    https://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/freq/search/myuse/summary/
  - マイクロ波マンモグラフィは乳がん検診の画期的な技術革新（神戸大学・木村建次郎教授）
    https://www.kobe-u.ac.jp/research_at_kobe/NEWS/people/researcher0012.html
  - SAR値（specific absorption rate＝比吸収率; W/kg）で規制。基準値を超える場所は立入制限要
    - 携帯電話/PHS（800MHz, 1.5 GHz, 1.9 GHz, 2 GHz）の局所SARの安全基準値：SAR＜2 W/kg
    - 局所SARはファントムの側頭部10gの立方体として吸収エネルギーを測定
    - 1 GHz前後の低周波電磁波でサルの行動変化は4 W/kgで1時間以内に起こるため, **<u>米国のヒトに対する許容全身SARは0.4 W/kg（6分間）</u>**

電波の安全性について（総務省資料）
https://www.soumu.go.jp/main_content/000328161.pdf

○　市販されているすべての携帯電話端末は、技術基準への適合審査の過程において、最大出力時に比吸収率（SAR）の規制値を超えていないことを確認。

○　端末は、基地局と通信するために必要最低限の強さの電波を出力する仕組みになっており、通信の状態が良好なときのSAR値は、最大出力時の１／１０以下になる。

	比吸収率（SAR）
体に影響を与えるレベル	10gあたり　138 W／kg
省令における規制値	10gあたり　２W／kg
市販端末の値※（最大出力時）	０．183W／kg ～ １．60W／kg （平均　０．693　W／kg）

※：平成２３年６月に販売中の機種。通信の状態によって端末からの電波の強さは大きく変わるので、公表されているSAR値の大きな端末は、それが小さな端末と比較していつも強い電波を出しているわけではない。

21