

放射線治療について

順天堂大学医学部附属順天堂医院 放射線科
先任准教授

小此木範之
OKONOGI Noriyuki

放射線の様々な利用

工業分野

(例：タイヤ等の強度向上、滅菌、測定)

研究分野

(例：年代測定、天文観察)

農業分野

(例：品種改良、害虫駆除)

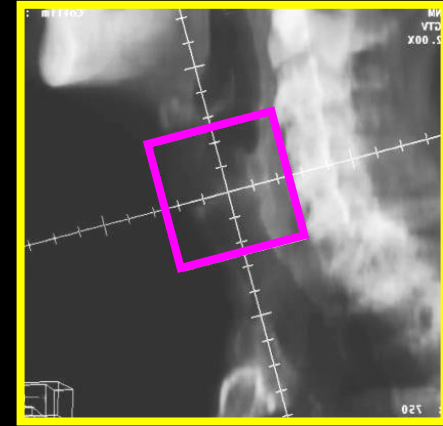
放射線治療

(例：がん治療等)

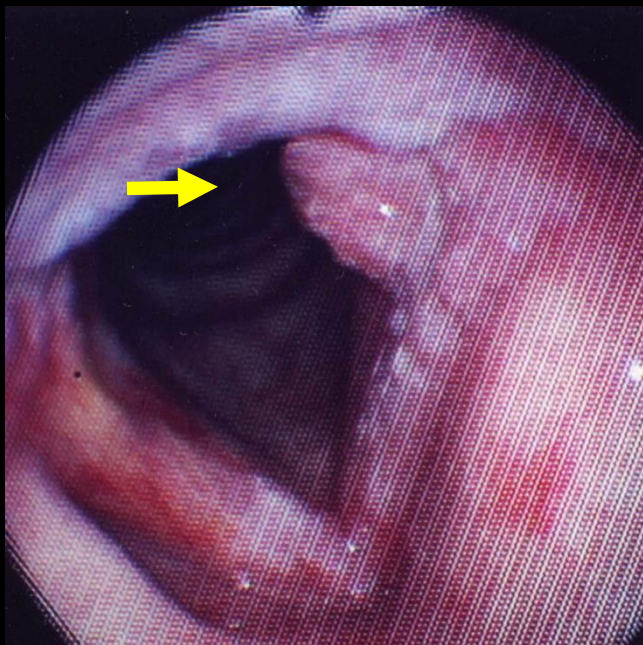
画像診断

(例：X線写真、CT検査)

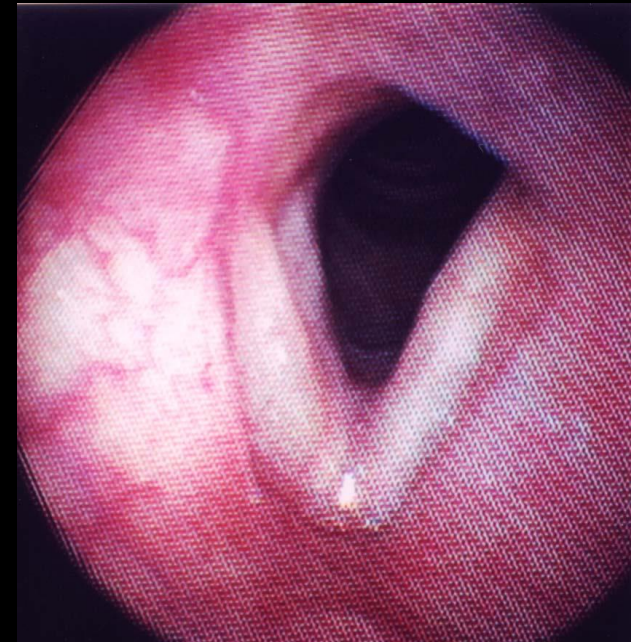
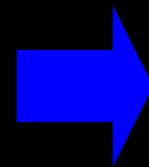
喉頭癌（声門部） cT1N0M0 根治目的、体外照射



発声機能温存



Before

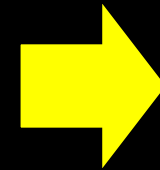
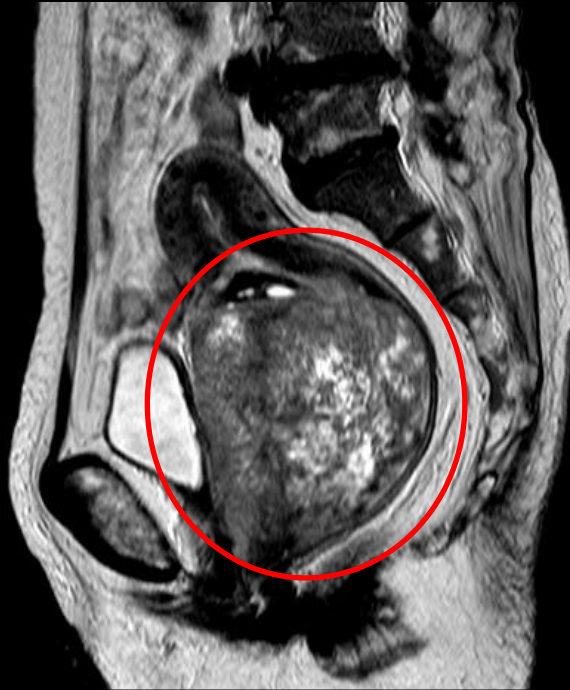


After

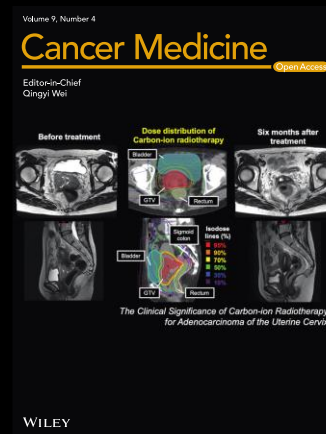
子宮頸癌 cT3N1M0

根治目的、重粒子線治療 + 化学療法

Before



After



←医学誌の巻頭で特集
Okonogi et al.

“がん”ってどんな病気？

- 遺伝子変異によって、制御不能に増殖する細胞集団。
→生体の栄養を奪って増殖するので、生体は消耗する。
- 周囲の組織に浸潤する。
→正常組織を壊し、あるいは圧迫するため、臓器機能不全に。
- 無治療のままだと全身に転移する。
→全身に転移することにより、臓器機能不全により命に関わる。

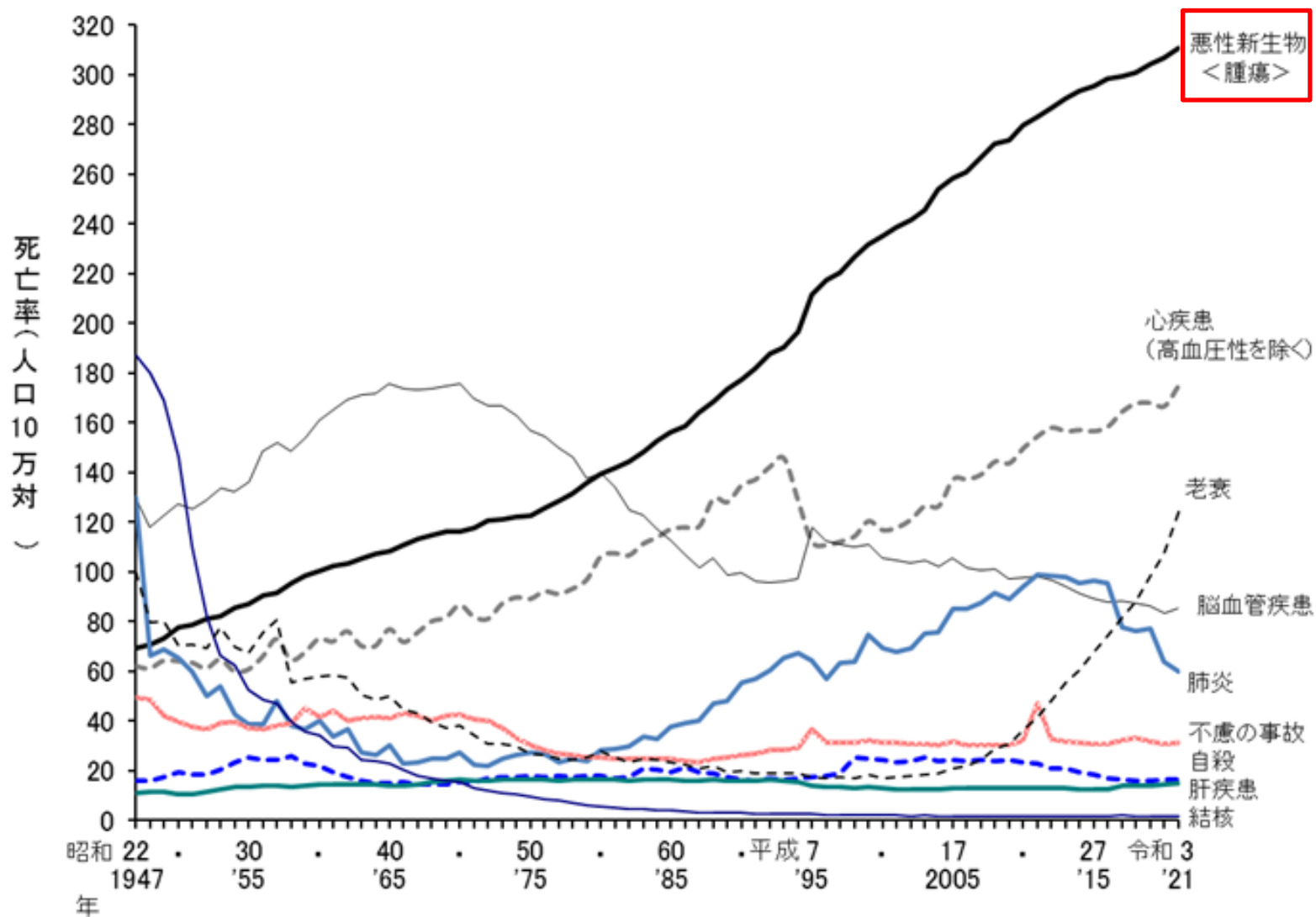
おとなしいもの、すぐに進行するものなど、特徴は多様であるが
総じて「がん＝人の命を奪ってしまう病気」である。

本日お伝えしたいこと

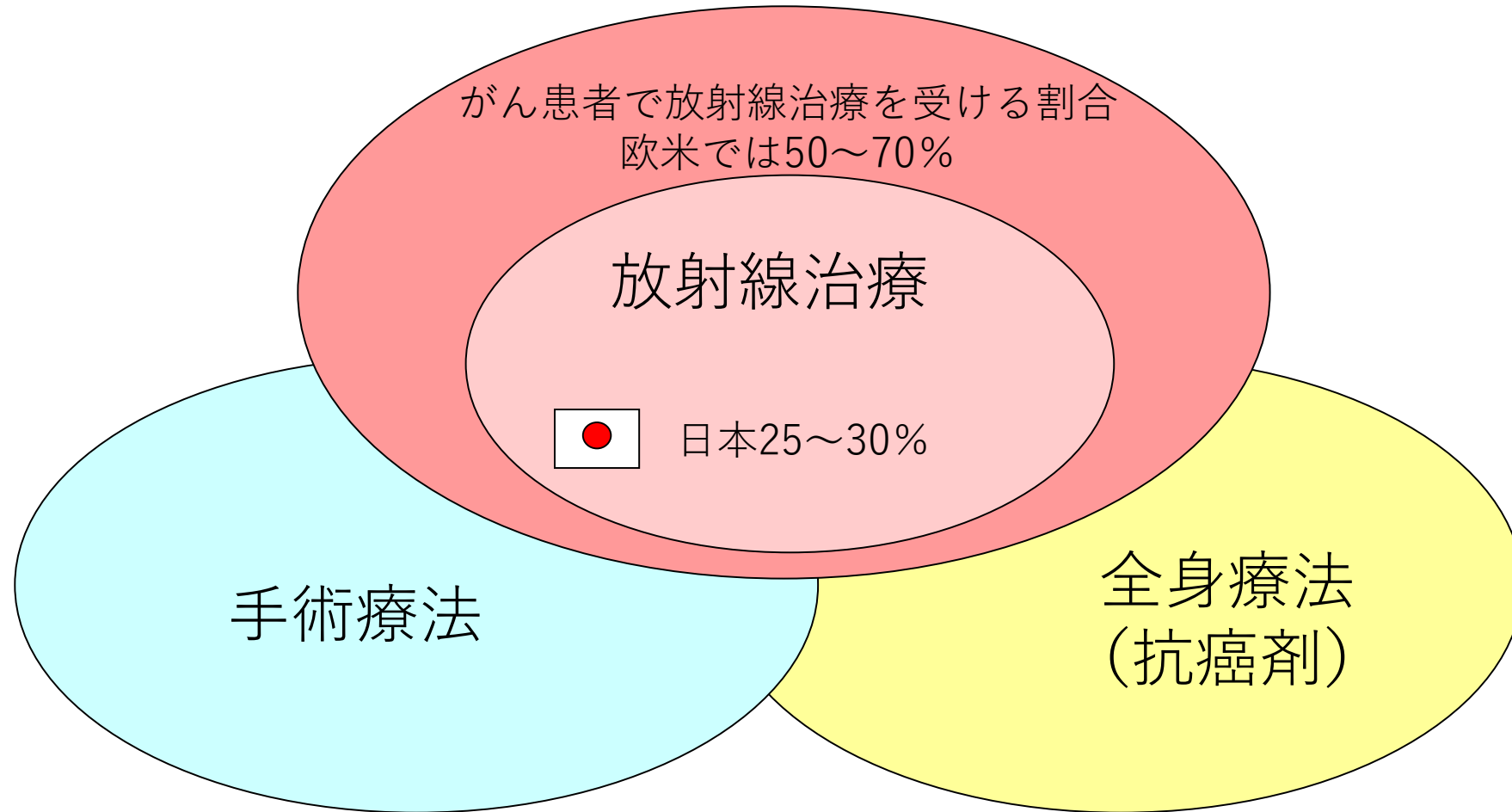
- 放射線治療の適応はとても広い
- 放射線治療の技術革新は目覚ましく、どんどん進歩している
- 放射線治療の適応について詳しく知りたい場合、ぜひ、主治医の先生と相談してみてください。

日本人の死因：がんが1位

「厚生労働省令和3年（2021）人口動態統計月報年計（概数）の概況」より

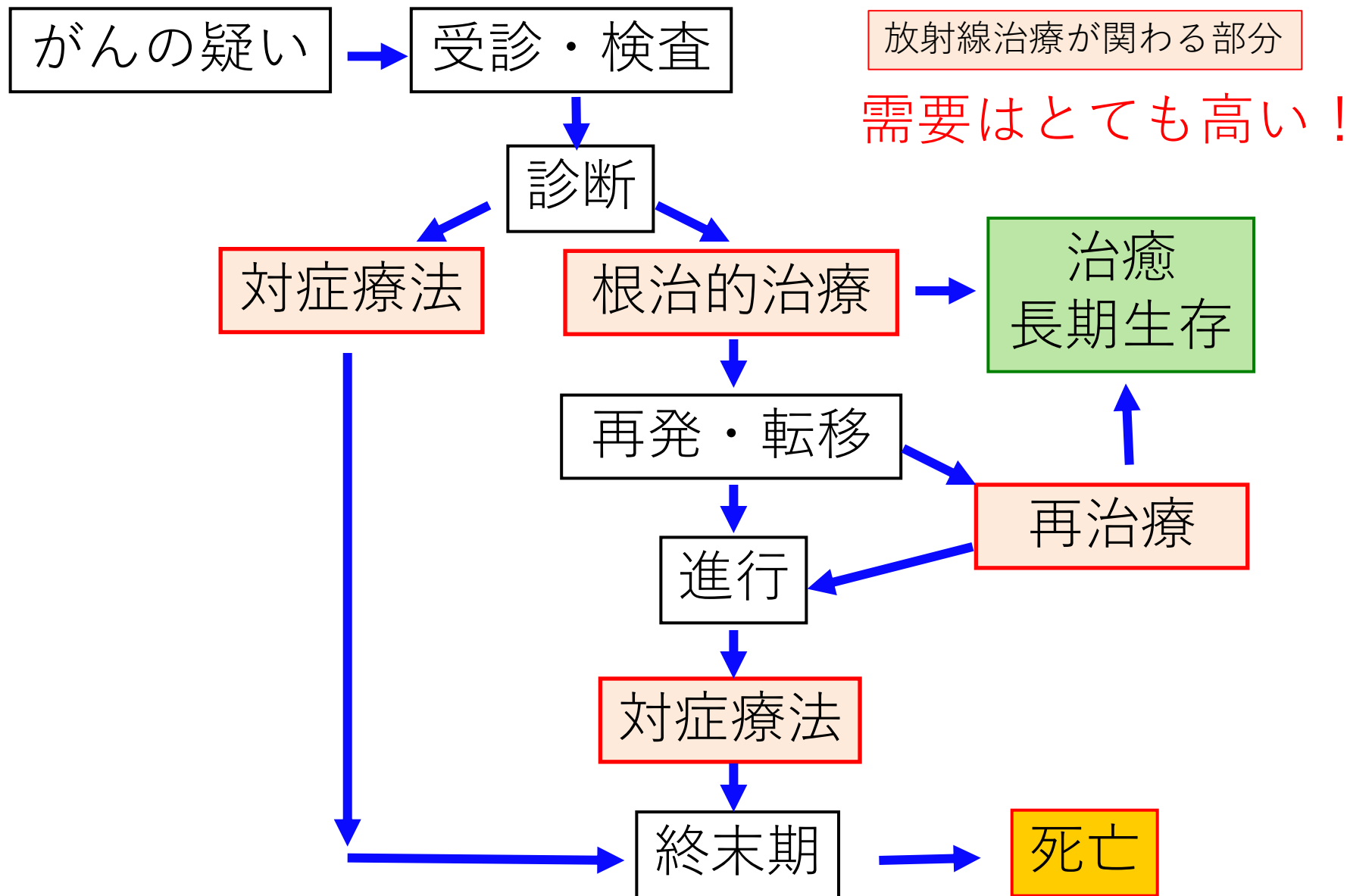


がん治療の「3本柱」



がんの大きさや広がり（病期＝ステージ）や、種類（病理組織型など）に合わせて治療方法を選択する。場合によっては組み合わせる。

がんの経過と放射線治療

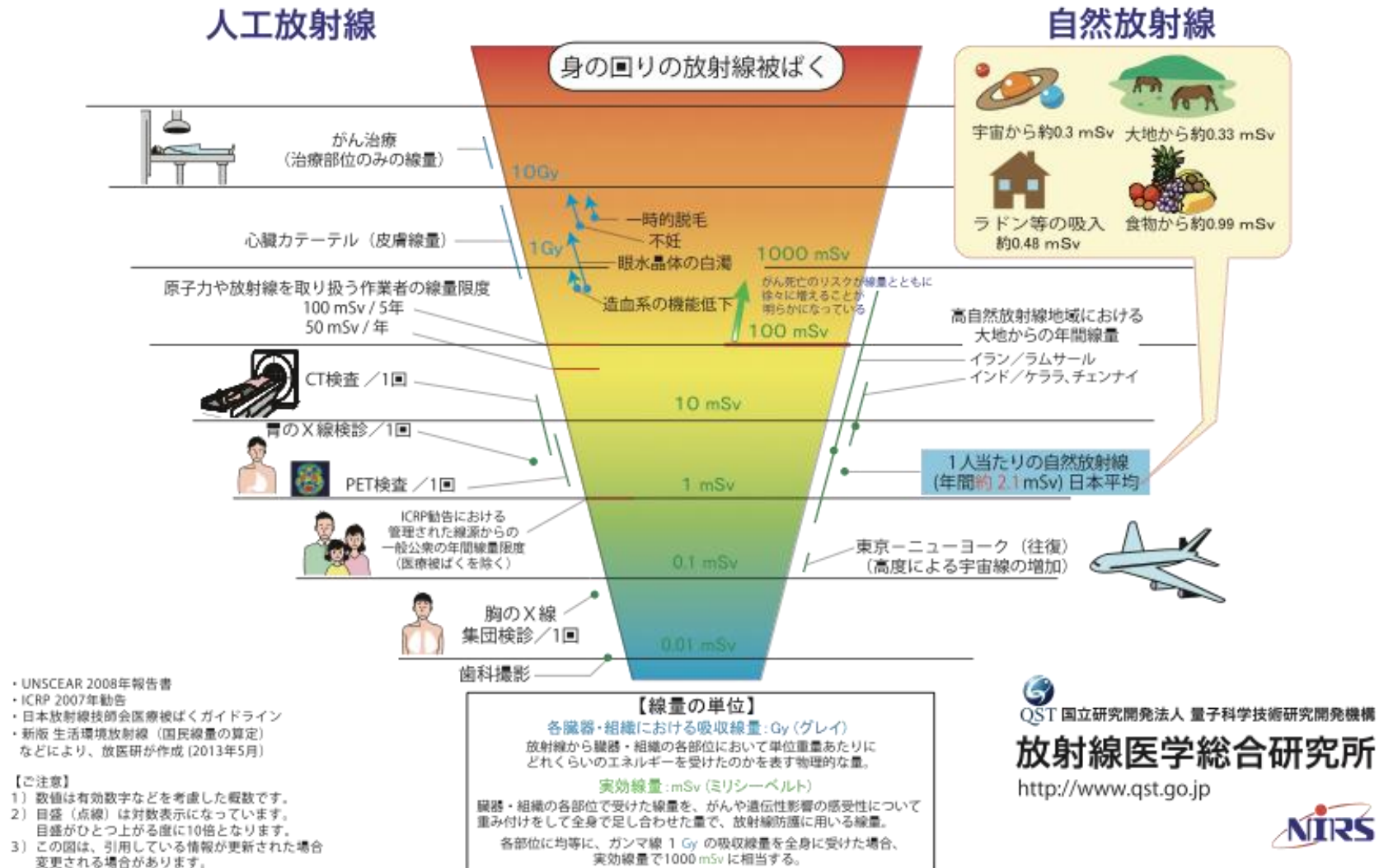


放射線 = 「エネルギーをもつ波・粒」

- 目でみることができない
- 身体にあててもなにも感じない
- 熱かったり、かゆかったり、痛かったりしない
- 放射線はあてた部分にだけ効く（大量にあびれば大変なことになるけど、正しく使えば怖くない）
- がん細胞の増殖を止めたり、死滅させたりする

正常細胞よりも、がん細胞の方が放射線が効きやすい。
→放射線によって組織を保ちながらがんを死滅させる事ができる。

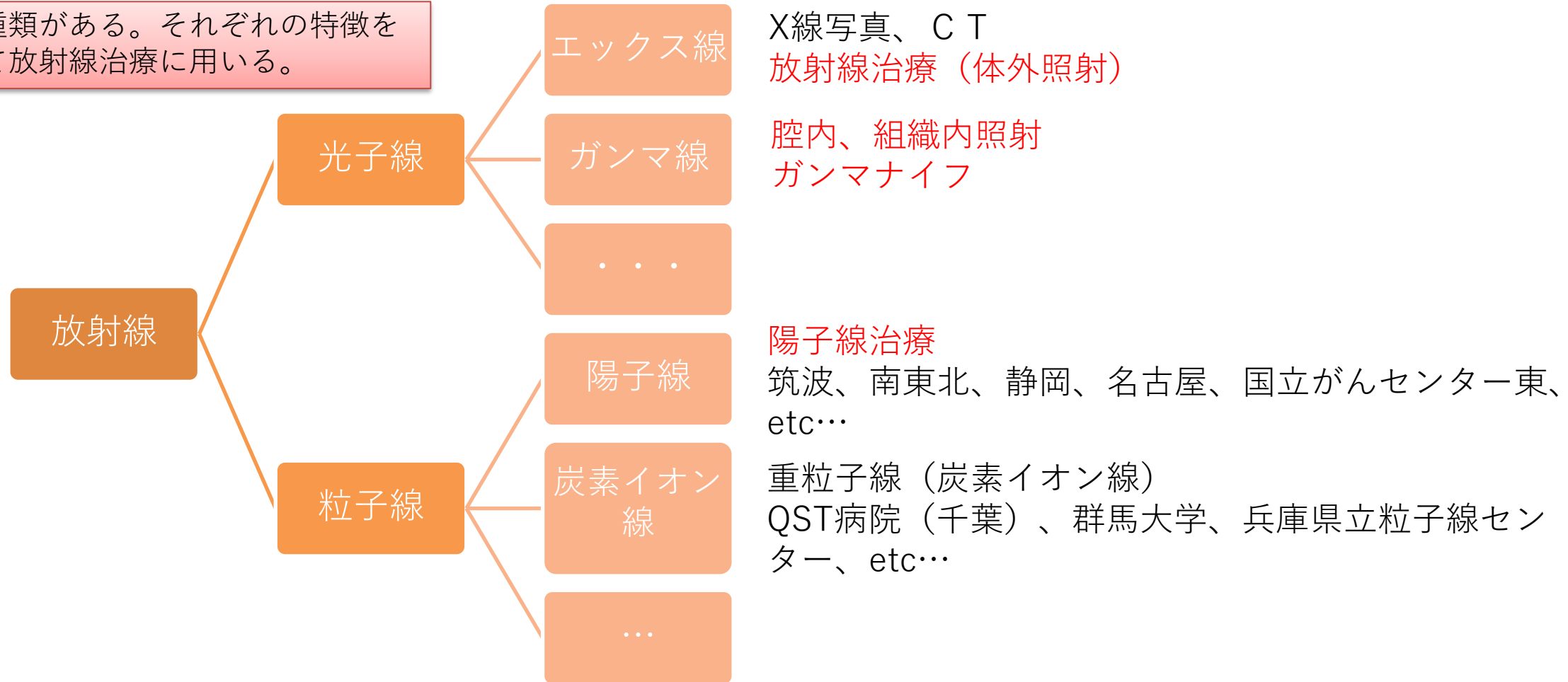
普通に生活していても被曝する！？



日本では自然界からの被曝量は平均2.1 mSv。加えて検査等による被曝がある。「身の回りにあるもの」であり、適正に管理すれば怖いものではない。

放射線 = 「エネルギーをもつ波・粒」

色々な種類がある。それぞれの特徴を活かして放射線治療に用いる。



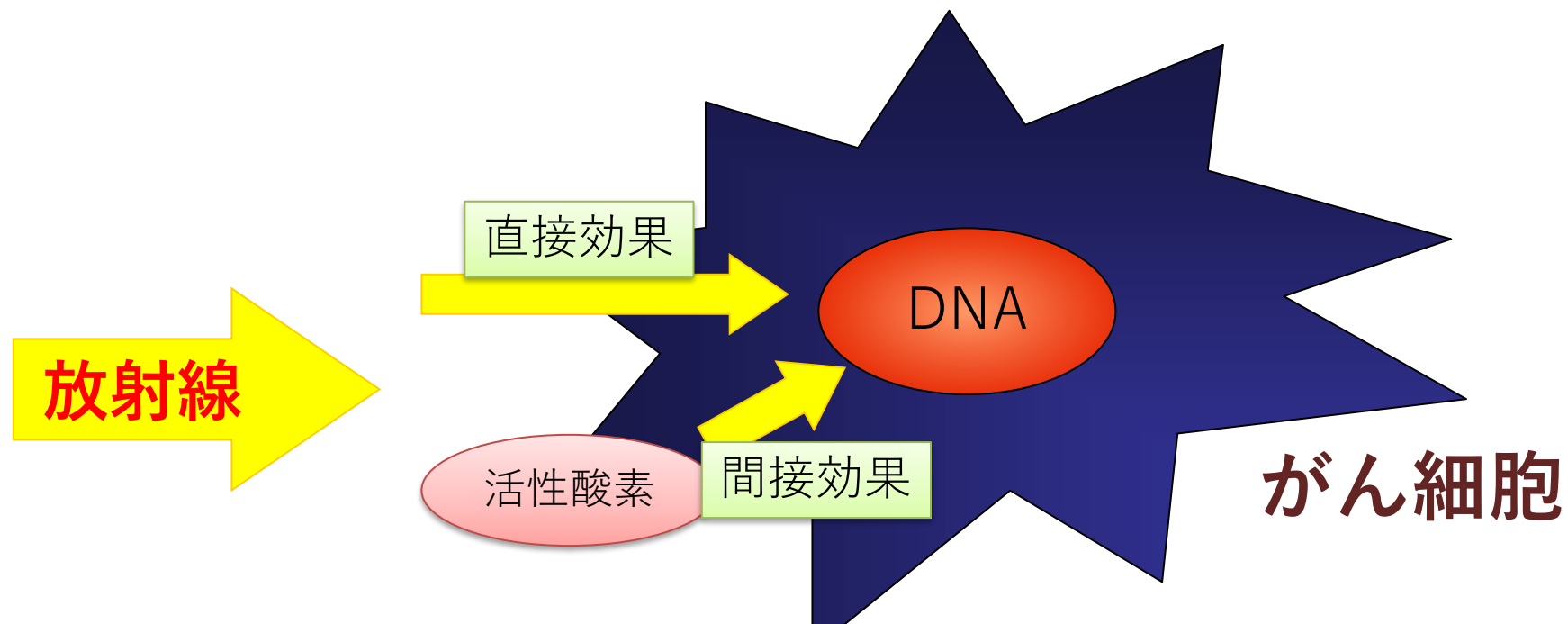
一般的に放射線治療に用いられるのはエックス線やガンマ線。
粒子線治療が出来る施設は日本には20数施設（世界的に見て、とても多い）

どうして放射線ががんに効くの？



DNAの2重らせん。

放射線が癌細胞をやっつけるメカニズム

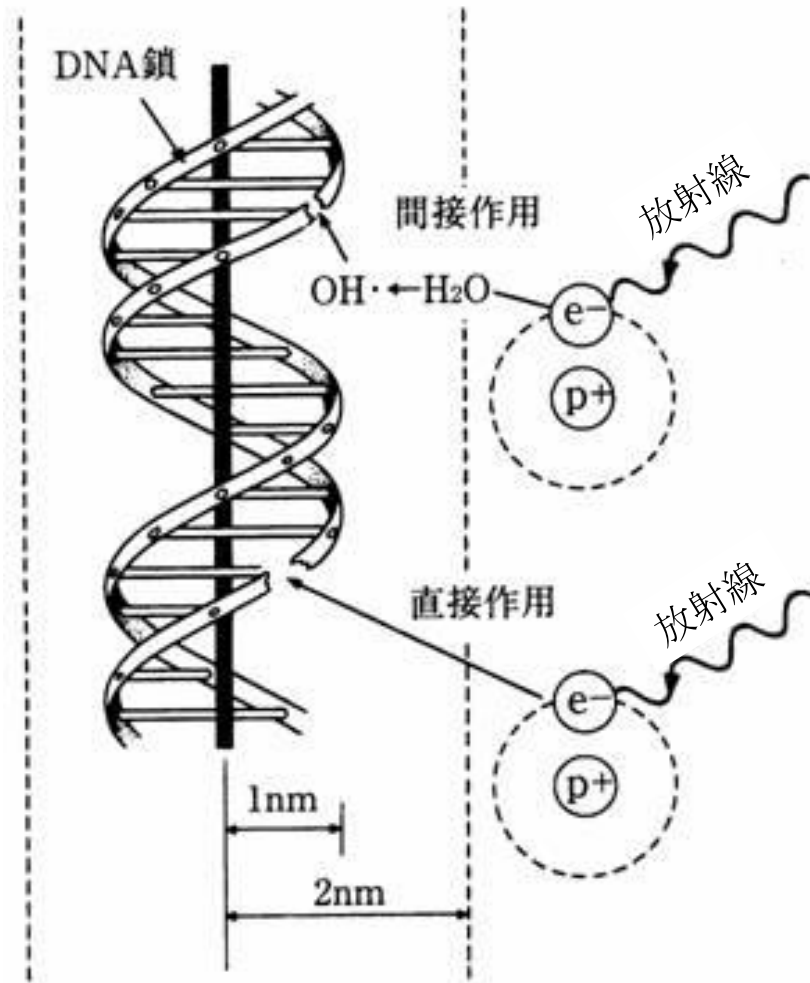


放射線が細胞の核内のDNAを破壊

DNAを破壊されたがん細胞は増殖できなくなる

* 上記は実は古典的な話。近年は放射線治療による癌細胞の死滅の形態は多岐にわたることが分かっている。

電離放射線によるDNA損傷



間接作用

- 放射線によって生じた二次電子が細胞内の水分子に作用し、フリーラジカル（不対電子を持った分子）を発生させ、それがDNAに損傷を与える。

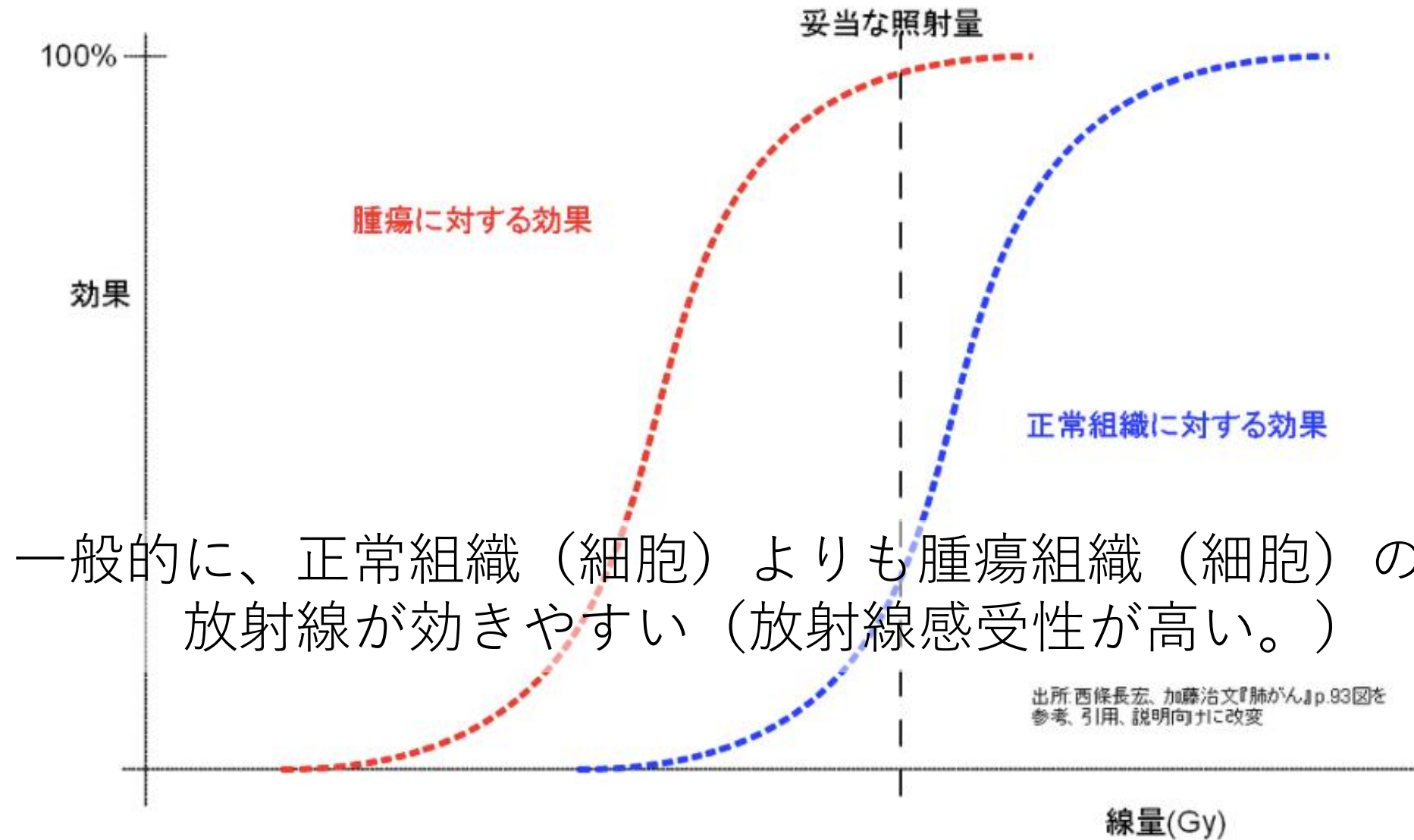
X線はこれが主

直接作用

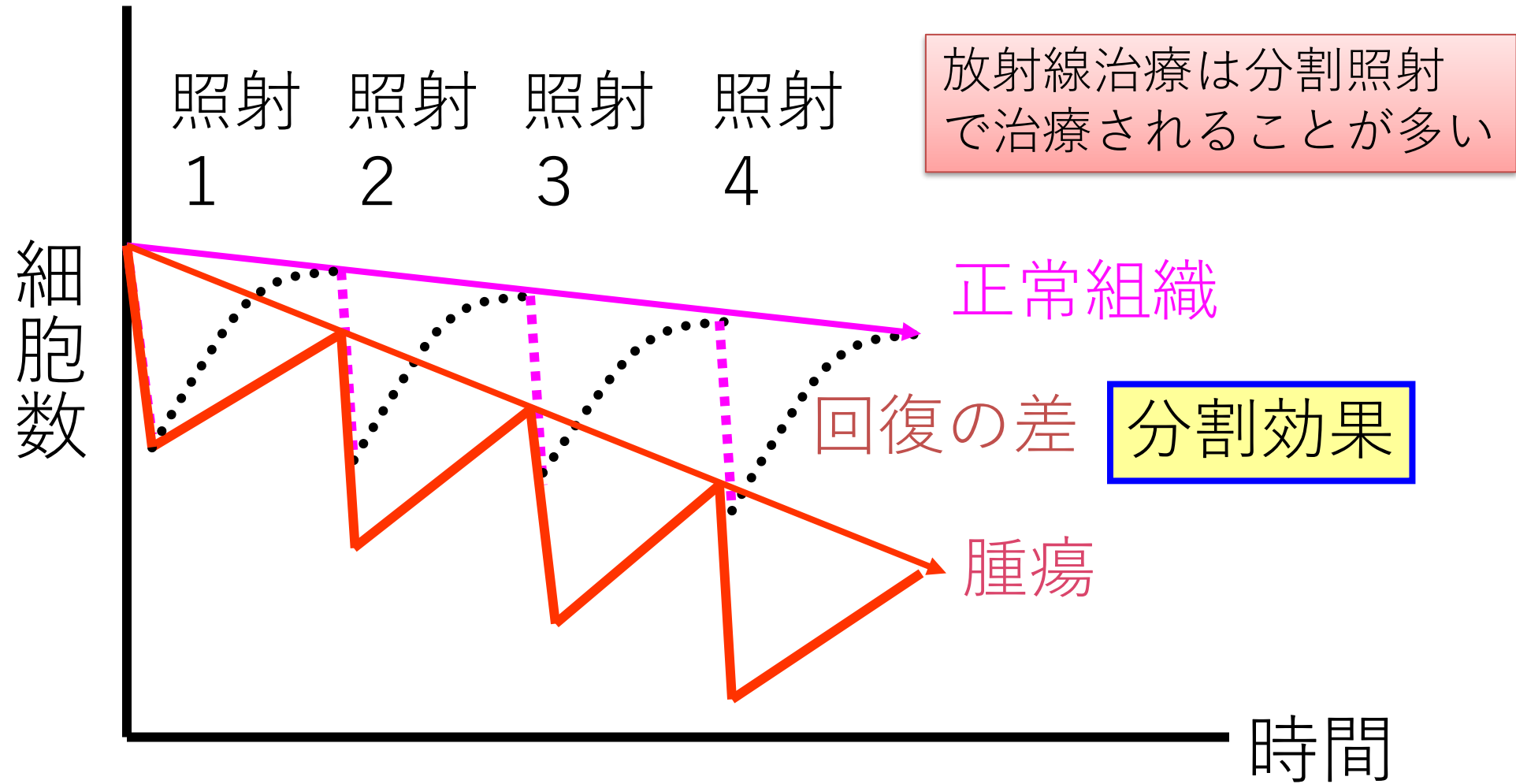
- 放射線によって生じた二次電子が、DNA分子を直接損傷する。

重粒子線はこれが主

正常組織と腫瘍組織の放射線感受性



分割照射：正常細胞と腫瘍細胞の放射線感受性の差を考慮



放射線でどんながんを治療できるの？

適応範囲はとても広い！

根治目的、緩和目的、術前・術後照射など、用途も様々

- 脳、喉頭、咽頭、甲状腺、肺、食道、腎臓、肝臓、膵臓、子宮、直腸、骨、皮膚・・・
 - からだに出来るほとんどのがんに対し放射線治療は可能。
 - 不規則に動く臓器（胃，小腸など）は苦手。
- エビデンス（診療上の根拠）が重要。
 - 放射線治療よりも、手術や抗癌剤治療のほうが優先されることも当然ある。
 - 他科の先生と相談し、患者さんの考えをしっかりと伺い、根拠に基づいて診療するのが大前提。

放射線治療の適応があると判断した場合、
放射線治療の「目的（目標）」、「種類」、「併用療法」の有無を
患者さん毎に決定する。

放射線治療の「目的」

- **根治的照射**

- 照射野内に原発巣やリンパ節が全て含まれる
- 正常組織の耐容線量内（致命的な有害事象を起こさない線量）で、病気を治癒するのに必要な線量が照射可能な場合。

- **姑息的、対症的（緩和的）照射**

- 根治性は期待出来ないが、患者のQOL向上のための治療
- 転移性骨腫瘍に対する照射など。

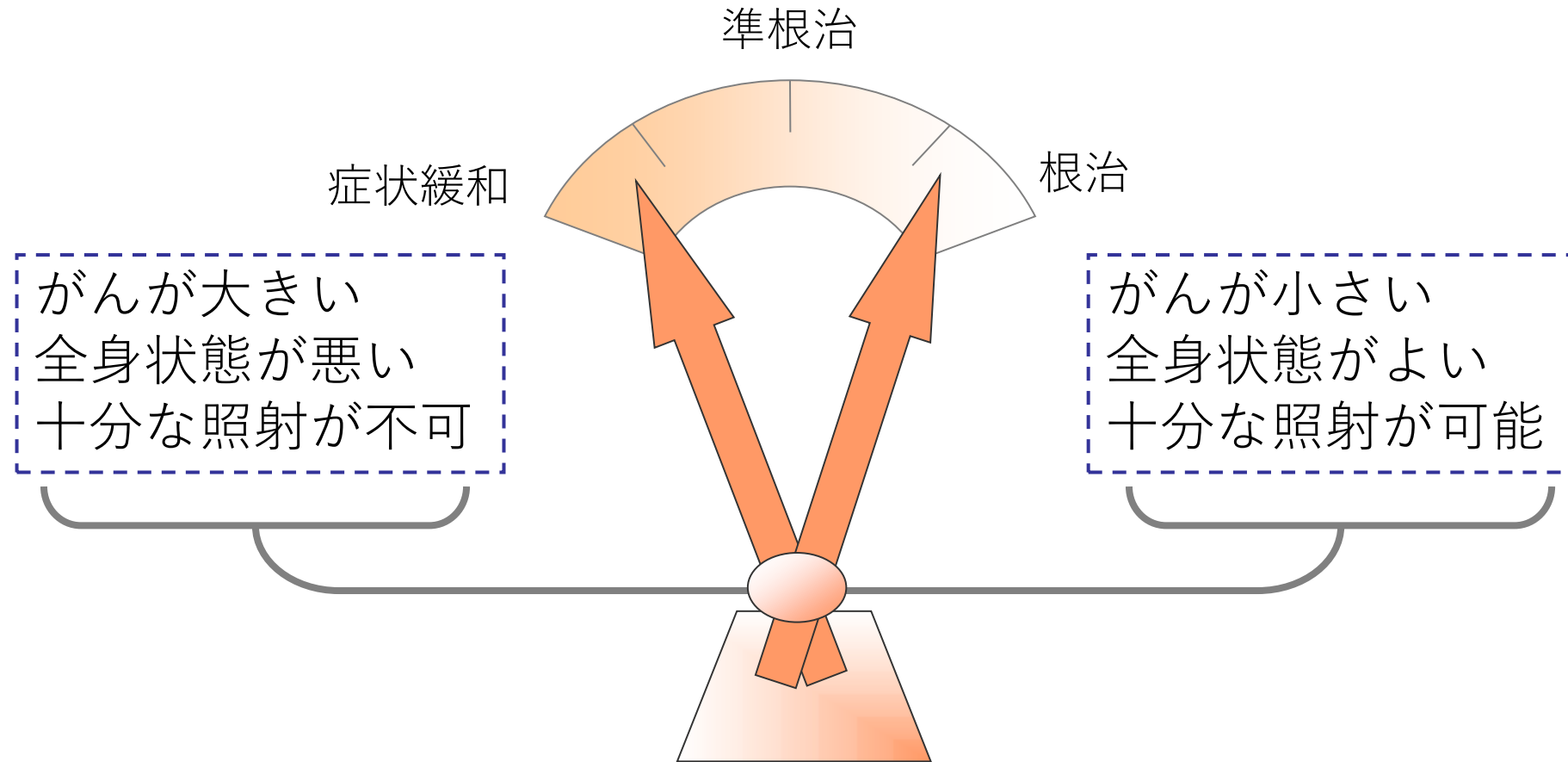
- **予防的照射（術後照射）**

- 可視的には腫瘍は存在しないが、ミクロレベルの残存腫瘍を制御するための照射。乳癌の乳房温存術後の照射など。

- **術前照射**

- 照射により腫瘍を縮小させ、手術による局所制御率の向上や、形態・機能温存の可能性を高める。

「目的」の設定には十分な病状理解が必要



放射線が効きやすいがんか否か、過去に照射歴はないか、重篤な併存疾患はないか、安静体位がとれるか、など様々な情報を総合し、明確に目標を設定する。

この説明、確認をしていくのが放射線治療部門です。病状だけではなく、患者さん・ご家族のお考えを伺い、最適な方法を提案していきます。

放射線治療の実際
(最新の放射線治療も含めて)

放射線治療の「種類」

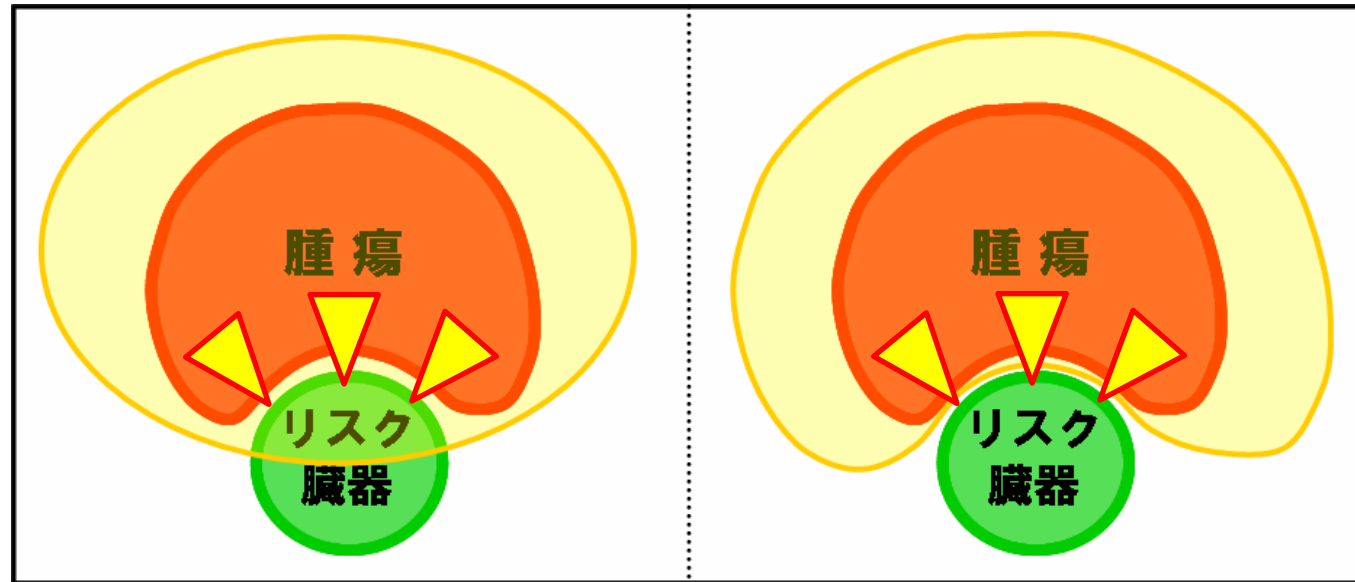
- **体外照射（外照射）**：X線治療、電子線治療
 - 一般的な放射線治療。近年、IMRT(強度変調放射線治療)、SRT/SBRT（定位放射線治療）と呼ばれる高精度の放射線治療も広がっている。
- **密封小線源治療**：腔内照射、組織内照射
 - 専用の器具や金属針を腫瘍（や周辺）にセットし、腫瘍を集中的に照射する。
 - 子宮頸癌、前立腺癌、など：Ir(イリジウム)-192。
 - 一部（低危険度群等）の前立腺癌：I（ヨード）-125。
- **非密封小線源治療**：特別な内服薬や点滴により、放射線を出す物質が病気に特異的に集まる。
 - 甲状腺分化癌やバセドウ病：I(ヨード)-131。
 - 多発性転移性骨腫瘍：Sr（ストロンチウム）-89。Ra（ラジウム）-223
 - 難治性の低悪性度B細胞性非ホジキンリンパ腫、マントル細胞リンパ腫：
Y（イットリウム）-90あるいはIn（インジウム）-111。
- **粒子線治療**：重粒子線（炭素イオン線）、陽子線
 - 体外照射の仲間。日本が世界をリードする分野で、公的保険適用の範囲がどんどん広がっている。

強度変調放射線治療 (IMRT)

強度変調放射線治療 (Intensity Modulated Radiation Therapy; IMRT) とは、複数のビームを組み合わせることで放射線に強弱をつけ、**がんの形態に合わせた**精細な集光治療のことである。IMRTという技術により外照射でも、より腫瘍に放射線を集中しながら周囲正常組織への照射を低減することができるようになった。

従来の放射線治療

IMRT



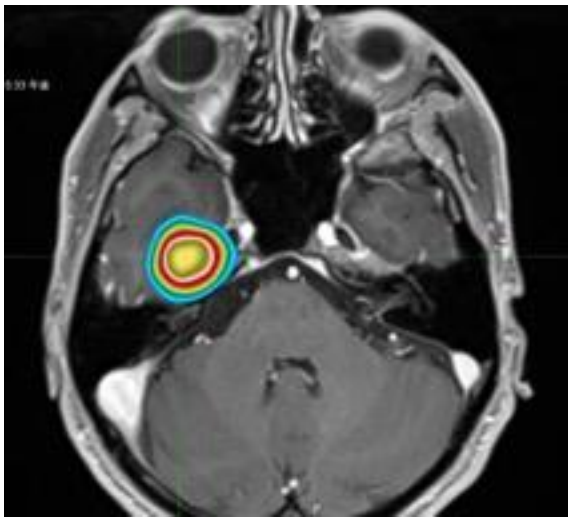
TomoTherapy®
VMAT
もIMRTの一種

従来の放射線治療では、治療線量の線量等高線は、原理的に必ず外側に凸になる。

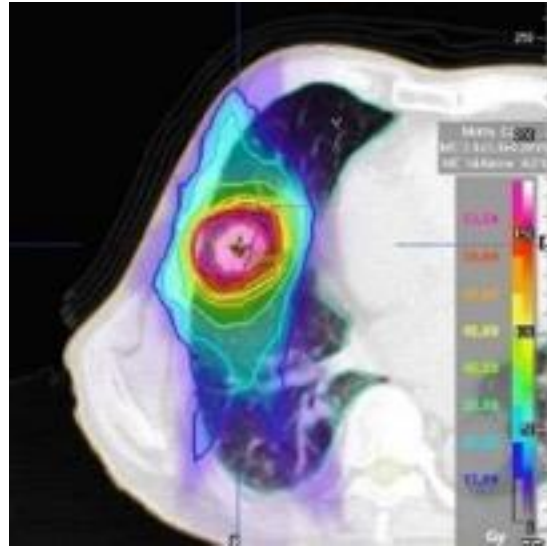
IMRTでは、リスク臓器を避けるようにして、内側に凹んだ線量分布を作成することが可能である。

定位照射（SRT）

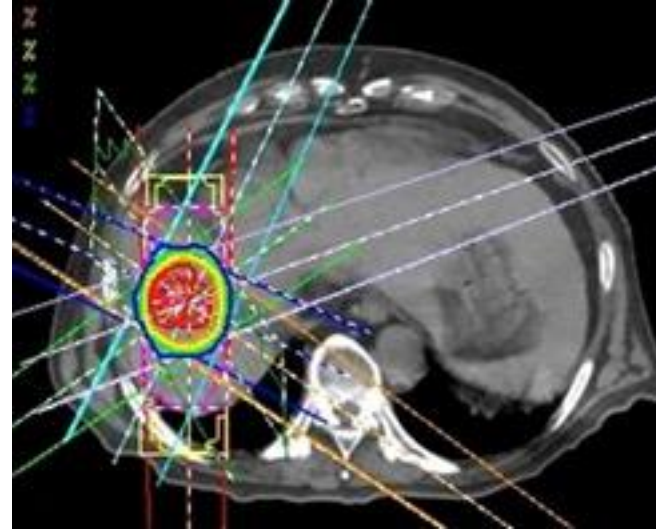
定位照射（Stereotactic radiotherapy; SRT）とは、**小病変**に対し、リスク臓器の回避し、**多方向**からのビームを高精度に**集中**させる照射法。小さい病変であることが前提で、適応となる疾患・病態に限りはあるが、**10回以内**で**放射線治療が完遂**できる。



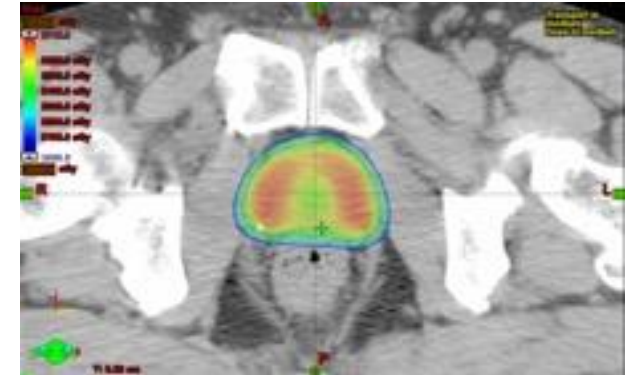
転移性脳腫瘍
1 - 5回



早期肺癌、転移性肺腫瘍
4回、8回
(施設によって3-10回)



早期肝癌、転移性肝腫瘍
(施設によって3-10回)

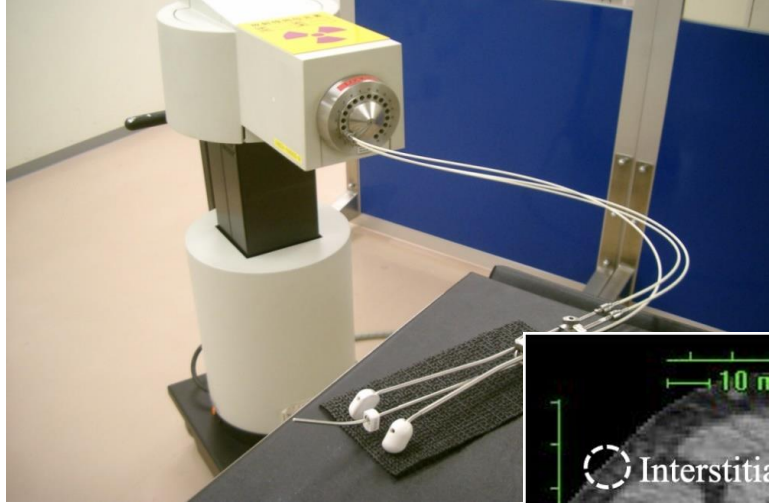


前立腺癌
5回
(施設によって5-7回)

他に椎体転移、少数リンパ節転移等に対しても定位照射が検討される

密封小線源治療：Ir-192による治療

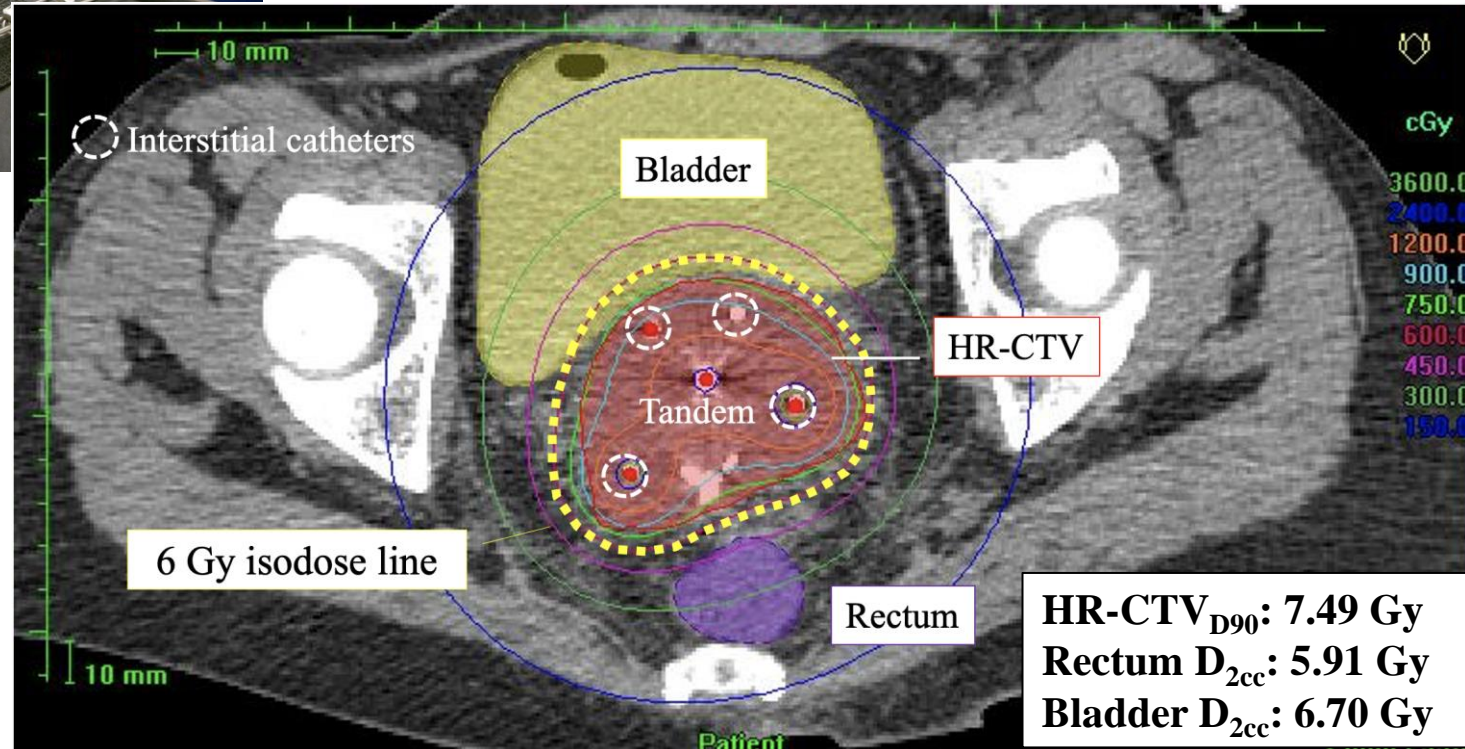
マイクロセレクトロンHDR



↑QST病院の治療室で撮影

放射線源（主に ^{192}Ir ）を腫瘍や管腔臓器（子宮腔など）に挿入して、腫瘍に高線量の γ 線を照射する方法。患者さんに applicator を挿入して、遠隔操作で治療を行うので、術者の被爆はない。

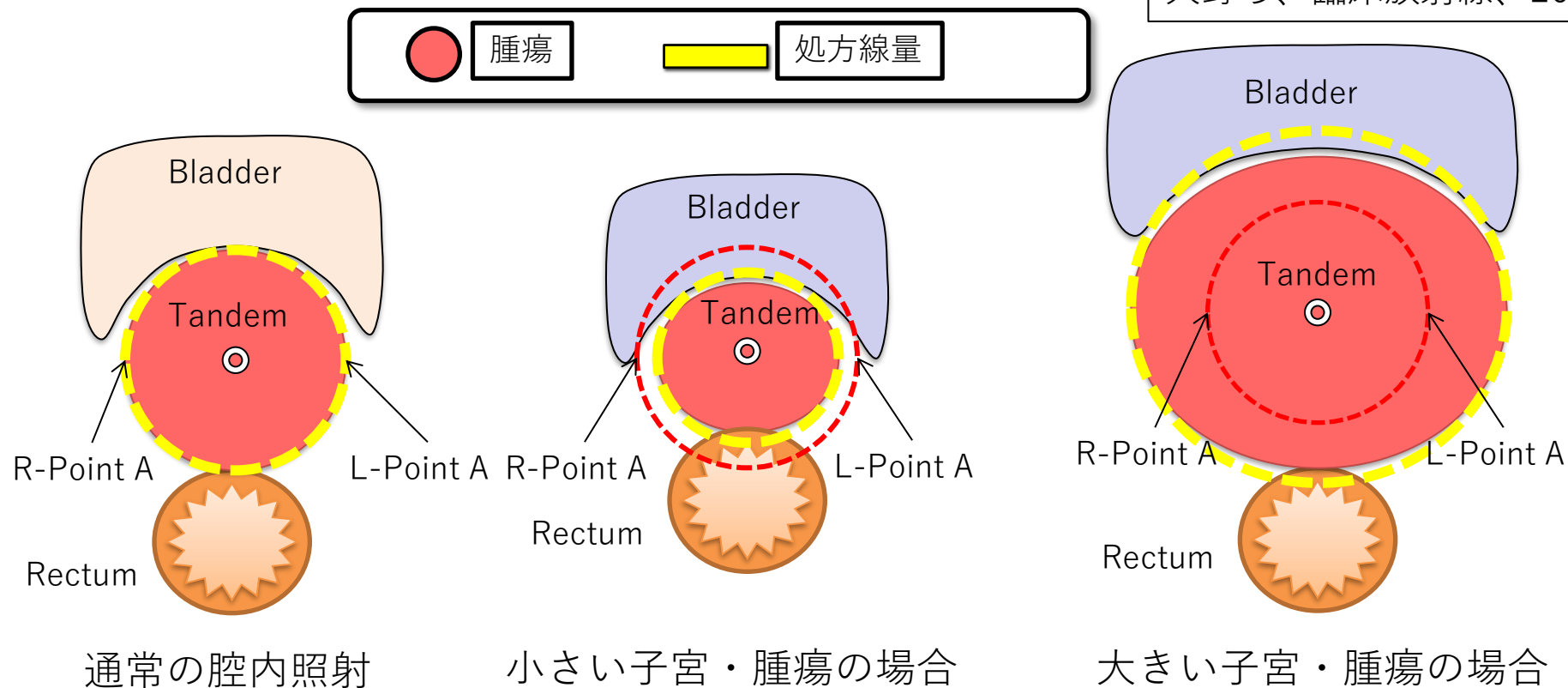
→Remote After Loading Systemの頭文字をとって**RALS**（ラルス）などと呼ばれる。



→
Okonogi, et, al. Cancer Rep
(Hoboken). 2022;5(11):e1607

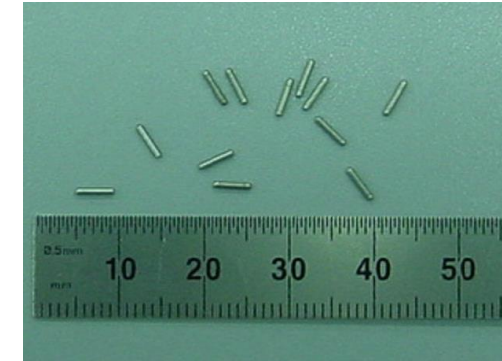
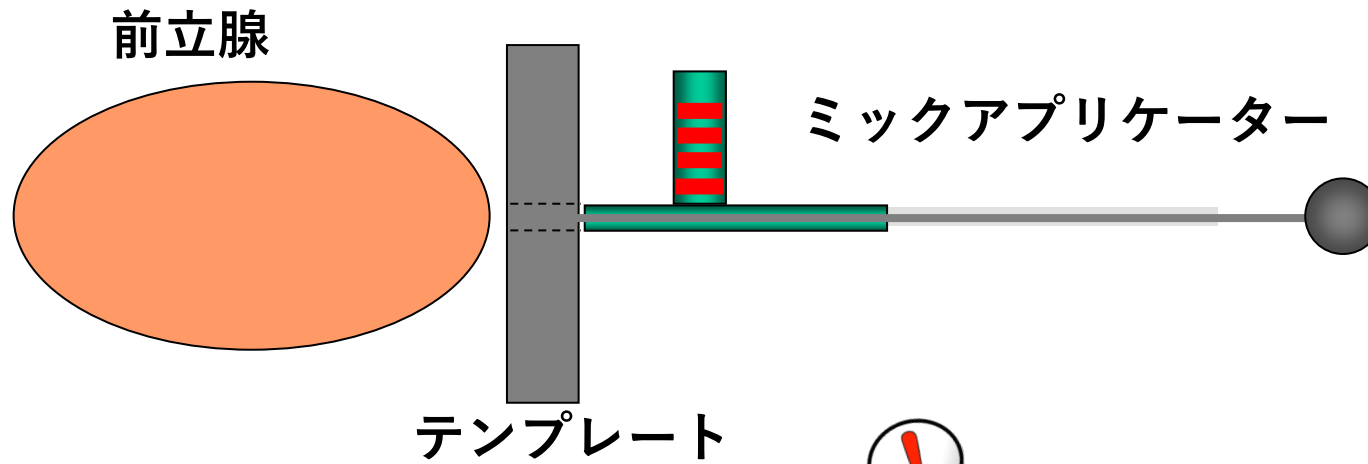
進化する小線源治療

大野ら、臨床放射線、2013



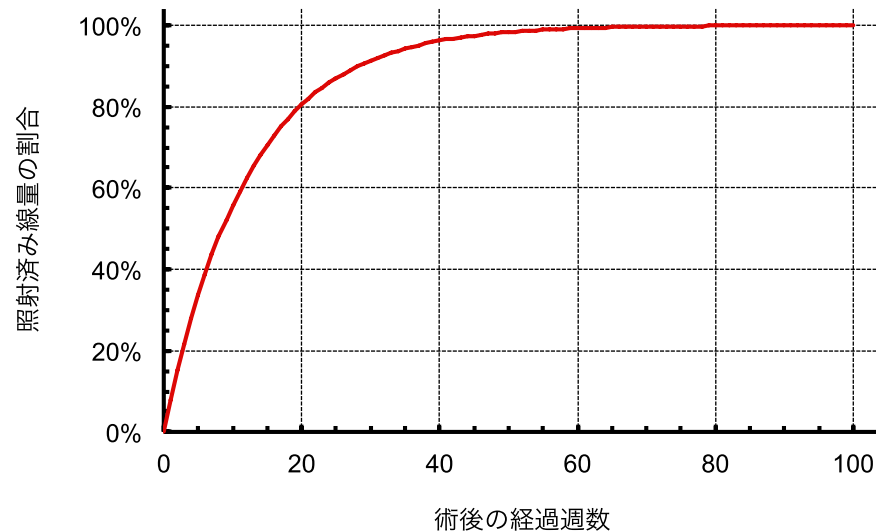
アプリーケーターを挿入した状態でCT/MRIを撮影し、
腫瘍の大きさや周囲臓器を考慮し、線量を調節する
画像誘導小線源治療: Image-Guided Brachytherapy (IGBT)

ヨウ素125シード永久挿入療法



(撮影 小此木)

全照射線量に対する照射済み線量の割合



125Iシード永久挿入術の欠点

- ✓ 前立腺内に線源を留置してこるため、前立腺外に進展するような進行期の症例は、適さない。
- ✓ 1年間という長期間かけて少しずつ治療をしていくので、早期であっても高リスクのものは、適さない。
- ✓ 法的に放射能の管理が必要となる。(術後1年以内に死亡した場合は、線源の回収を行う必要がある。)

非密封小線源治療：I-131による治療

治療としてすることは、

カプセルを飲んでもらう

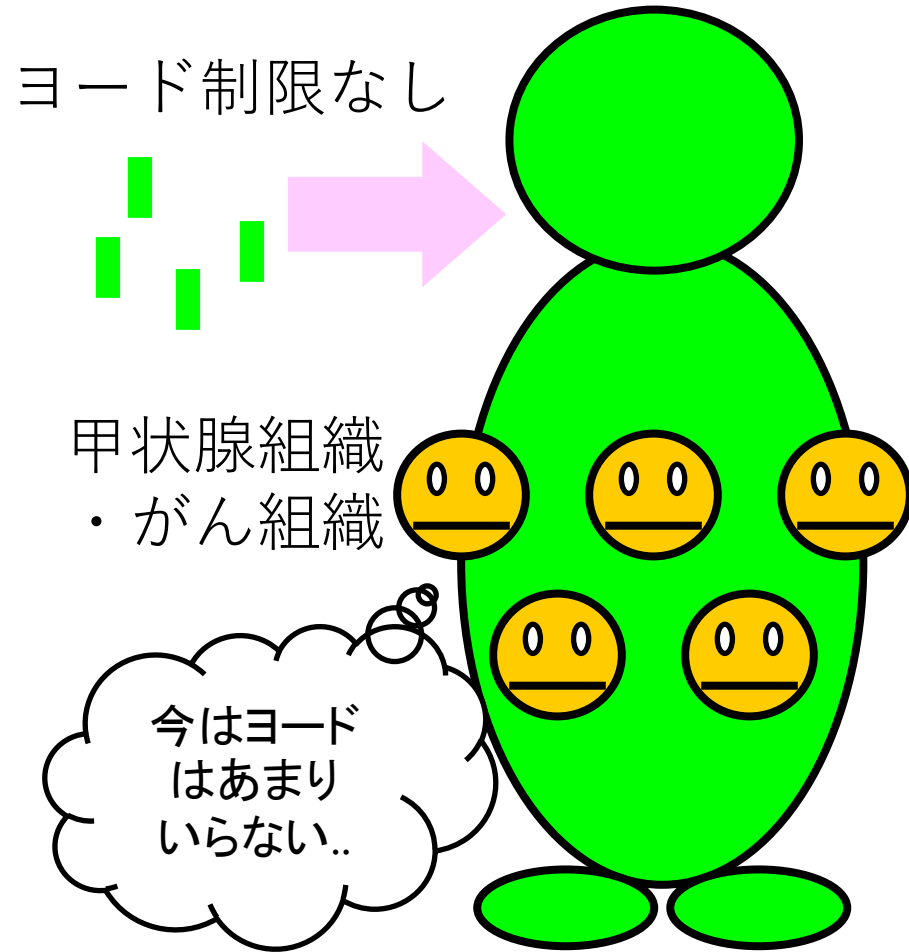
分化型甲状腺癌（術後）
バセドー病に対して

以上！

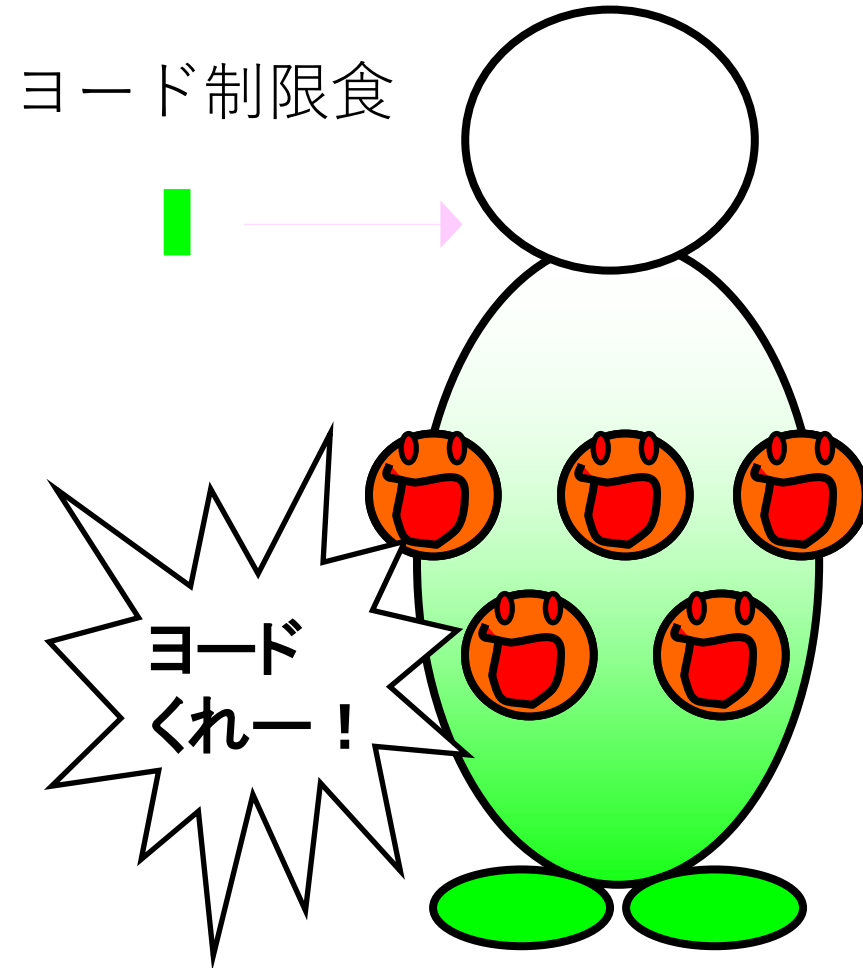


(撮影 小此木)

■前処置：ヨード制限（ヨード禁食） +チラーヂン中止

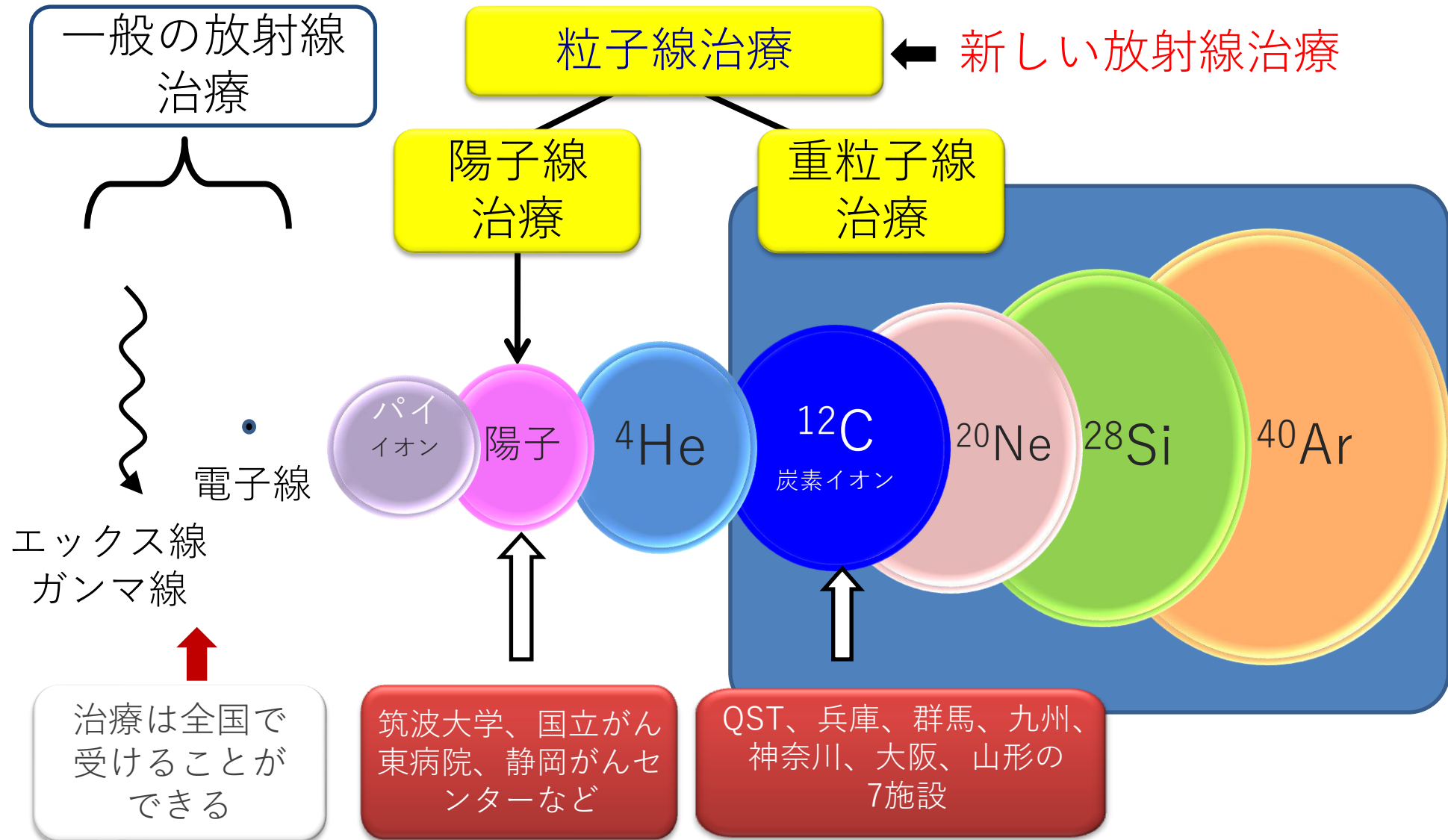


食事から摂取されたヨードが体内で飽和している→甲状腺組織・がん組織はヨードを少ししか取り込まない



体内で不足している→摂取されたヨードが甲状腺組織・がん組織によく取り込まれる。

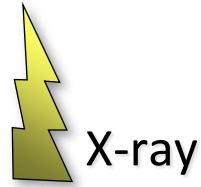
粒子線治療：優れた放射線治療のひとつ



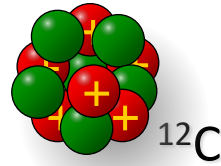
陽子線、順天堂も始めます！（2027年以降、@美園）

粒子線治療：線量（エネルギー）分布の違い

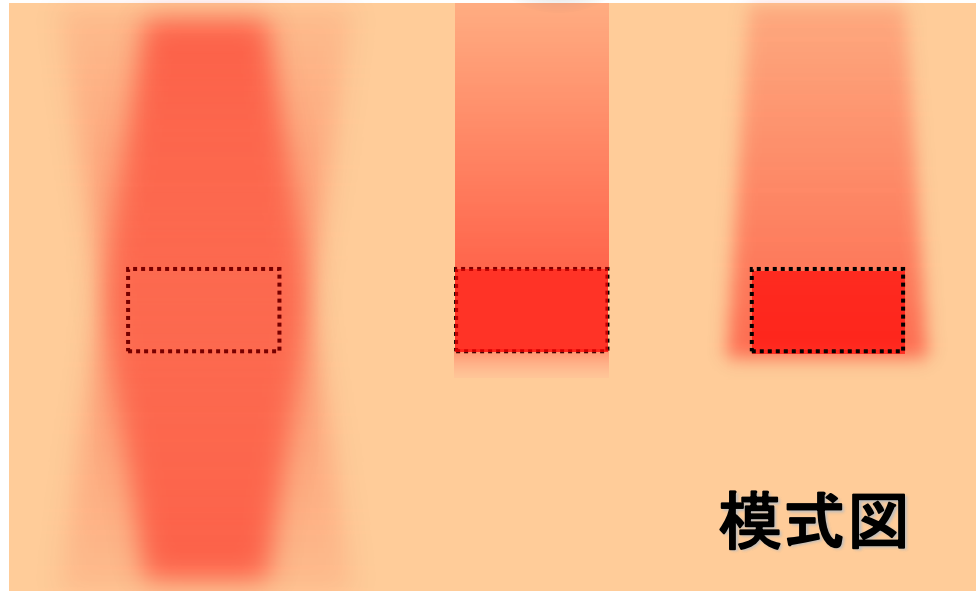
通常の外照射
(X線照射)



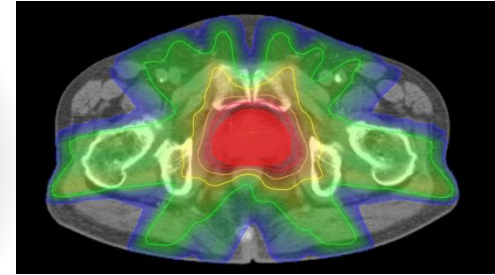
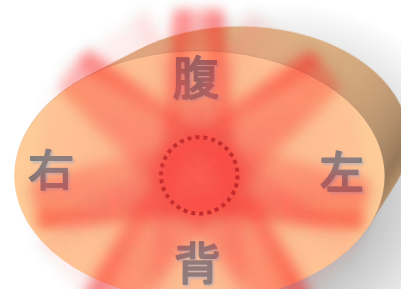
重粒子線



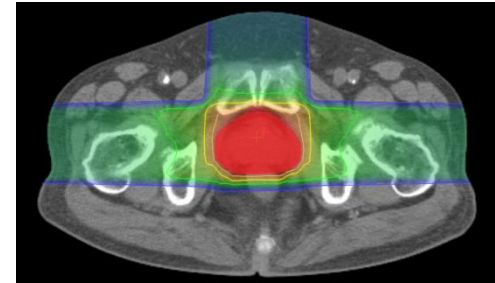
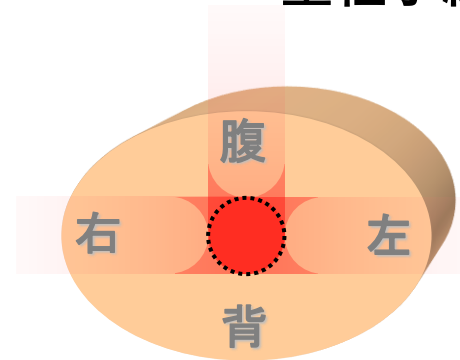
陽子線



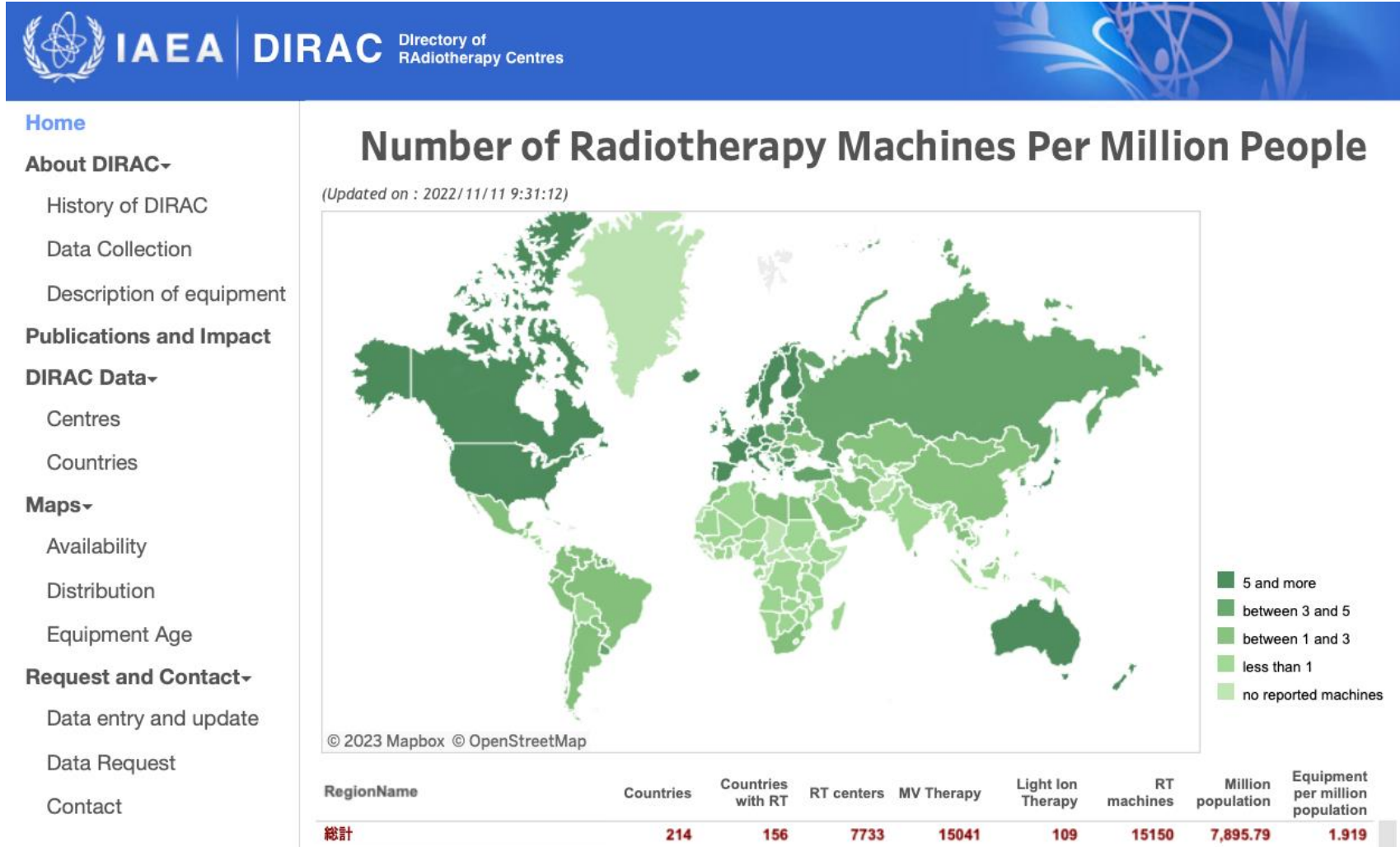
IMRT (X線) の場合



重粒子線治療の場合



粒子線は、狙った部分だけに照射する事が得意。
周辺の正常組織への影響が少ない = より副作用が少なくなる可能性



全世界で一般的な放射線治療装置（X線）は15,000台。粒子線は100台あまり。
日本には粒子線治療施設が20数か所：世界をリードする医療分野

粒子線治療（陽子線治療，重粒子線治療）の保険適用となる疾患

› 新着情報

› 先進医療Aとして実施の粒子線治療

› 保険診療として実施の粒子線治療

› 登録申請等

› 粒子線治療施設

I. 陽子線治療

頭頸部悪性腫瘍（口腔・咽喉頭の扁平上皮癌を除く）

早期肺癌（I-II A期）＊

肝細胞癌＊（長径4cm以上）

肝内胆管癌＊

局所進行性膵癌＊

局所大腸癌＊（手術後に再発したもの）

限局性及び局所進行性前立腺癌

限局性の骨軟部腫瘍＊

小児腫瘍（限局性の固形悪性腫瘍）

II. 重粒子線

頭頸部悪性腫瘍（口腔・咽喉頭の扁平上皮癌を除く）

早期肺癌（I-II A期）＊

肝細胞癌＊（長径4cm以上のもの）

肝内胆管癌＊

局所進行性膵癌＊

局所大腸癌＊（手術後に再発したもの）

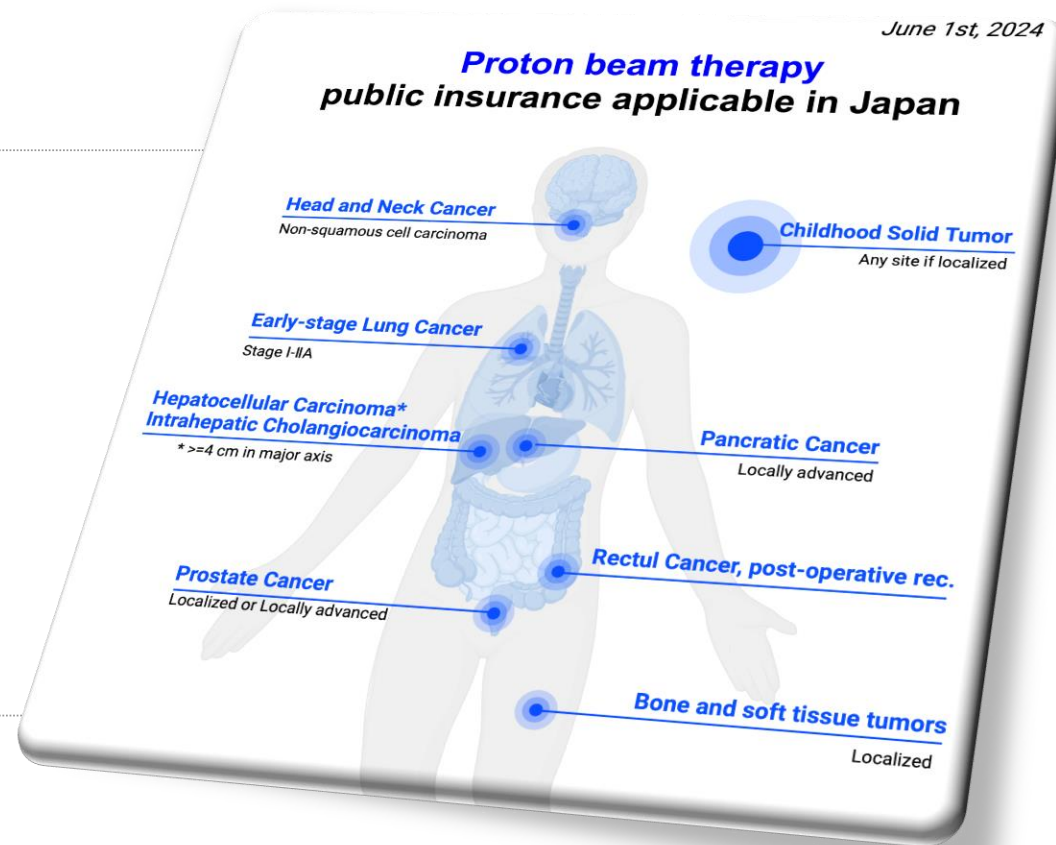
局所進行性子宮頸部腺癌＊

局所進行性子宮頸部扁平上皮癌（長径6cm以上）＊

婦人科領域の悪性黒色腫＊

限局性及び局所進行性前立腺癌

限局性の骨軟部腫瘍＊



https://www.jastro.or.jp/medicalpersonnel/particle_beam/2022/07/post-10.html

粒子線治療について

- › 新着情報
- › 先進医療Aとして実施の粒子線治療
- › 保険診療として実施の粒子線治療
- › 登録申請等
- › 粒子線治療施設

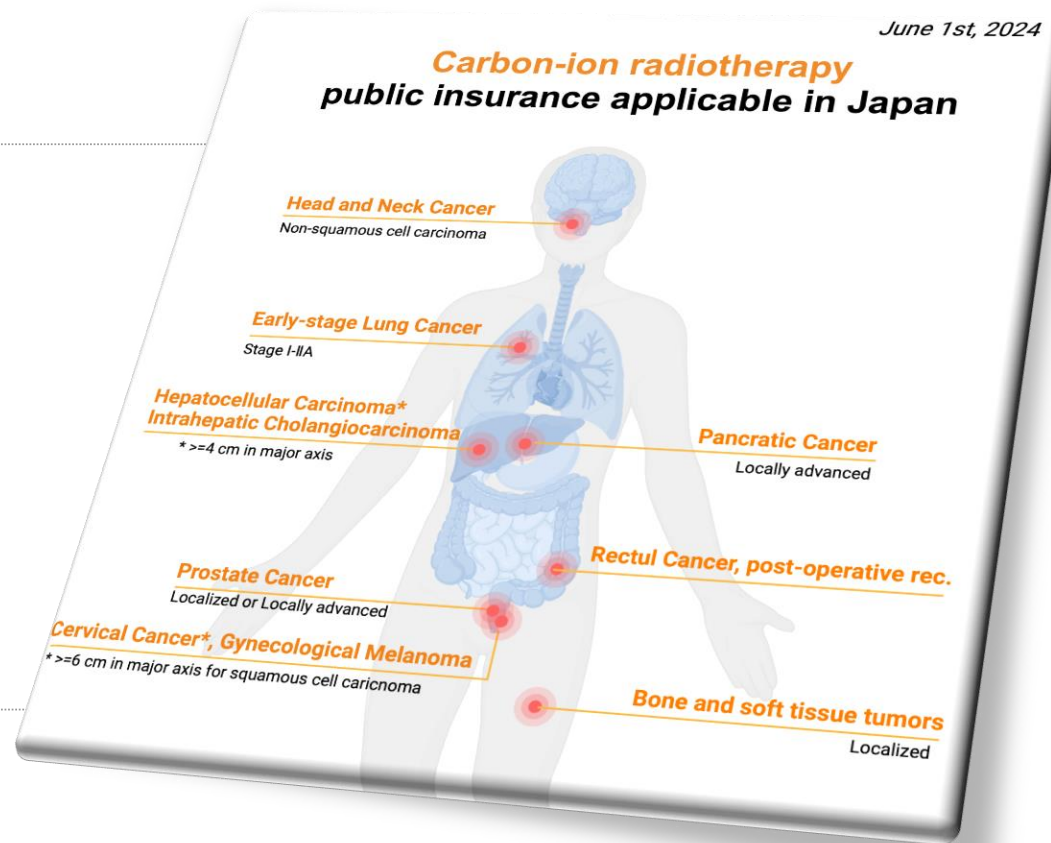
粒子線治療（陽子線治療, 重粒子線治療）の保険適用となる疾患

I. 陽子線治療

- 頭頸部悪性腫瘍（口腔・咽喉頭の扁平上皮癌を除く）
- 早期肺癌（I-II A期）*
- 肝細胞癌*（長径4cm以上）
- 肝内胆管癌*
- 局所進行性膵癌*
- 局所大腸癌*（手術後に再発したもの）
- 限局性及び局所進行性前立腺癌
- 限局性の骨軟部腫瘍*
- 小児腫瘍（限局性の固形悪性腫瘍）

II. 重粒子線

- 頭頸部悪性腫瘍（口腔・咽喉頭の扁平上皮癌を除く）
- 早期肺癌（I-II A期）*
- 肝細胞癌*（長径4cm以上のもの）
- 肝内胆管癌*
- 局所進行性膵癌*
- 局所大腸癌*（手術後に再発したもの）
- 局所進行性子宮頸部腺癌*
- 局所進行性子宮頸部扁平上皮癌（長径6cm以上）*
- 婦人科領域の悪性黒色腫*
- 限局性及び局所進行性前立腺癌
- 限局性の骨軟部腫瘍*



https://www.jastro.or.jp/medicalpersonnel/particle_beam/2022/07/post-10.html

本日お伝えしたいこと（まとめ・再掲）

- 放射線治療の適応はとても広い
- 放射線治療の技術革新は目覚ましく、どんどん進歩している
- 放射線治療の適応について詳しく知りたい場合、ぜひ、主治医の先生と相談してみてください。

* 順天堂大学の放射線科（治療）は完全予約制です。主治医の先生からのご紹介を元に予約をお取りします。よろしくお願ひ申し上げます。