

「放射線を科学的に理解する

— 基礎からわかる東大教養の講義 —

鳥居寛之・小豆川勝見・渡辺雄一郎 著

中川恵一 執筆協力

丸善出版

本体 2500円＋税

- 1章 放射線とは？《放射線入門》
 - 2章 放射線の性質《放射線物理学 I》
 - 3章 原子力発電で生み出される放射性物質
《原子核物理学・原子力工学》
 - 4章 放射線量の評価《放射線物理学 II》
 - 5章 放射線の測り方《放射線計測学》
 - 6章 環境中での放射性物質《環境放射化学》
 - 7章 放射線の細胞への影響《放射線生物学》
 - 8章 放射線の人体への影響《放射線医学》
 - 9章 放射性物質と農業《植物栄養学・土壌肥料学》
 - 10章 放射線の防護と安全《放射線防護学》
 - 11章 役に立つ放射線《放射線の利用・加速器科学》
- Q&A

放射線を理解するには、物理学・化学・生物学・医学・工学など多くの分野の知識が必要です。しかしこれらすべてを網羅することは難しく、系統立てて学べる機会は非常に少ないのが実情です。

本書は東京大学教養学部で行われた講義をもとに、放射線について多角的に学べるよう配慮しています。日常生活や原発事故にかかわる具体的な例を引きながらやさしくていねいに解説しましたので高校生や一般の方にも広く読んでいただきたいと願っています。

<http://radphys4.c.u-tokyo.ac.jp/~torii/lecture/radiolect-kn.html>

放射線

鳥居 寛之
小豆川勝見
渡辺雄一郎
著

中川 恵一
執筆協力

科学的に
理解する

基礎からわかる東大教養の講義

丸善出版

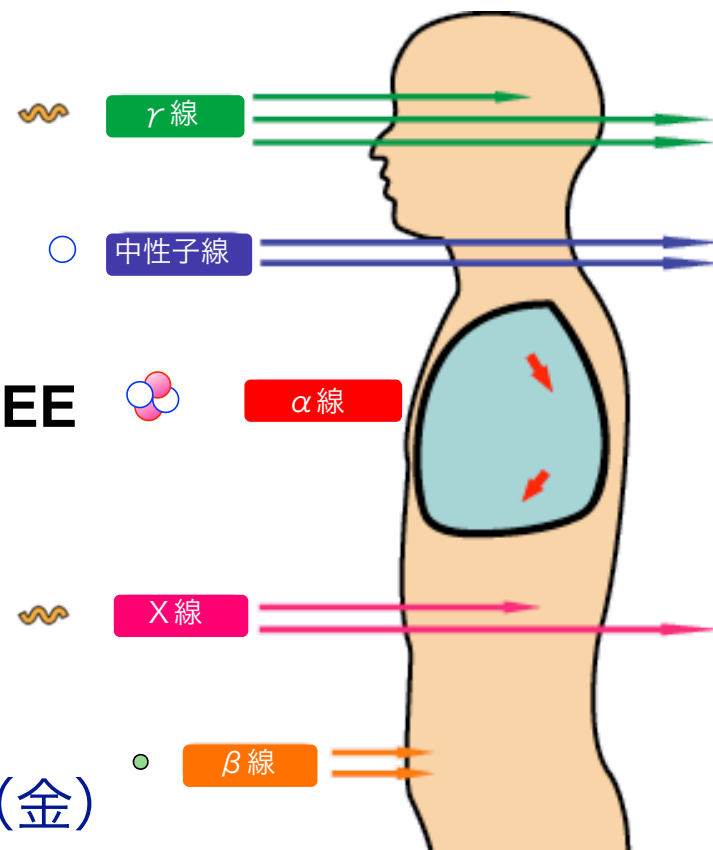


金曜 5 限

@ 21 KOMCEE
(West)

K303教室

2016 / 12 / 9 (金)



第9回

放射線医療

放射線の医療応用と人体への影響

芳賀 昭弘

東京大学 医学部附属病院 放射線科

放射線を科学的に理解する

- 9/30 放射線入門 【鳥居】
- 10/ 7 放射線物理学 【鳥居】
- 10/14 放射線計測学 【小豆川】
- 10/21 放射線物理・化学 【鳥居】
- 10/28 環境放射化学 【小豆川】
- 11/ 4 放射線生物学 【渡邊】
- 11/11 被曝調査・医療支援 【坪倉】
- 12/ 2 原子核物理学・原子力工学
- 12/ 9 放射線医療 【芳賀】 【鳥居】
- 12/16 放射性物質汚染と農業 【藤原】
- 12/23 環境放射化学 【小豆川】
- 1/ 6 放射線の利用 【渡邊】
- 1/12 加速器科学・放射線防護学
(木曜振替) 【鳥居】

鳥居 寛之

小豆川 勝見

渡邊 雄一郎

《教養学部》

坪倉 正治 《医科学研究所》

芳賀 昭弘 《医学部附属病院放射線科》

藤原 徹 《農学部応用生命化学》

ゲスト講師

放射線の医療応用と 人体への影響

芳賀 昭弘

東京大学医学部附属病院
放射線科診療放射線管理室長

haga-haga@umin.ac.jp



医療に於ける放射線の利用



現代医学は放射線なしには成り立たない



医療に於ける放射線の利用

◆ 疾患の診断

- ✓ X線撮影、透視、CT(コンピューター断層撮影)
シンチグラフィ、PET(陽電子放射断層撮影)
SPECT(単一光子放射断層撮影)

◆ 疾患の治療

- ✓ リニアック、粒子線治療、ガンマナイフ
小線源治療、内用療法

◆ その他

- ✓ 輸血用血液照射、ラジオイムノアッセイ



医療に於ける放射線の利用

- ◆ 医療で患者に投与される放射線の強さは、他の放射線利用分野で被曝する線量に比べて桁違いに大きい。
 - ✓ 法令で定める職業被曝の年間線量限度は50mSv
 - ✓ がん治療に使う放射線はその100倍以上！
- ◆ 医療では、放射線の影響が人体に表れる
- ◆ また、だからこそ、そのデータから人体に影響が生じるレベルの線量がどの程度なのか推定することが可能。
- ◆ 低線量被曝の影響を調べるためには莫大なデータが必要。医療被曝のデータベース化が鍵。



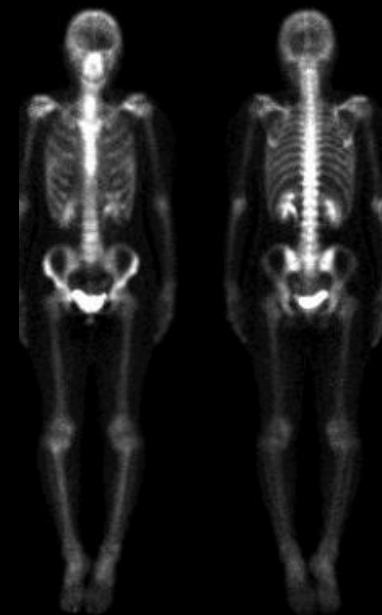
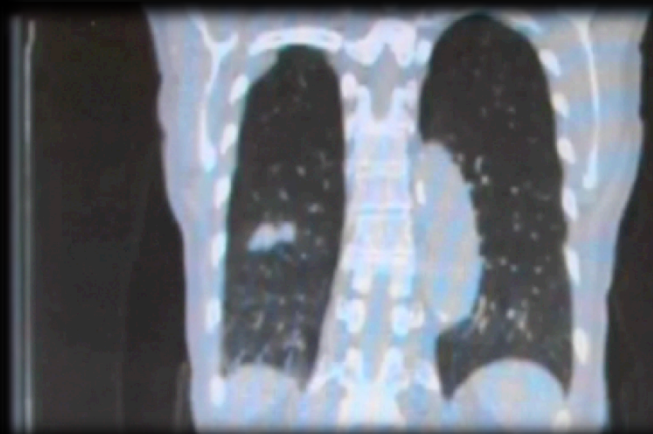
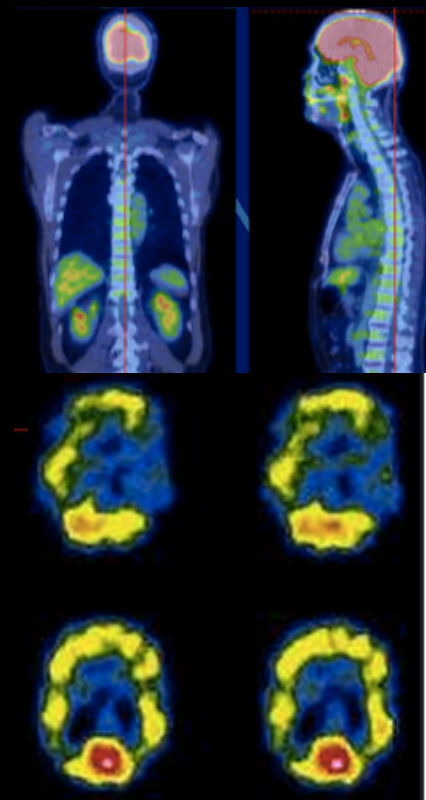
本日のコンテンツ

- ◆ 放射線診断と核医学
 - ✓ 代表例としてCTとPETの原理の紹介
- ◆ 放射線治療
 - ✓ がん治療の背景と放射線治療の考え方
- ◆ 医療被曝
 - ✓ 診断による被曝と治療による被曝
- ◆ 医学物理学とは
 - ✓ エビデンスベースと物理学



放射線診断と核医学

- ◆ 疾患の診断が目的
 - ✓ X線投影の利用—放射線診断
 - ✓ 放射性同位元素の利用—核医学



X線を利用した診断：放射線診断

◆ X線一般撮影, マンモグラフィー

- ✓ 低エネルギー (100kV以下) のX線透視
- ✓ 低線量・低画質/情報小



◆ CT撮影

- ✓ 複数の投影像から3次元的に人体内部を再構成
- ✓ 高線量・高画質/情報大



◆ Interventional Radiology (IVR)

- ✓ 体内の状態をX線透視やCTでリアルタイムに観察
- ✓ 病変部の治療(針やカテーテルを血管や胆管・消化管などの臓器に施入)
- ✓ 極めて高線量・高画質/情報大



◆ 骨密度測定

- ✓ Dual-energy X線吸収による骨中に含まれるCaやPの定量
- ✓ 低線量・低画質/情報中



CT再構成＝線減弱係数分布推定

仮定：X線は物体を通過することで指数関数的に減衰する

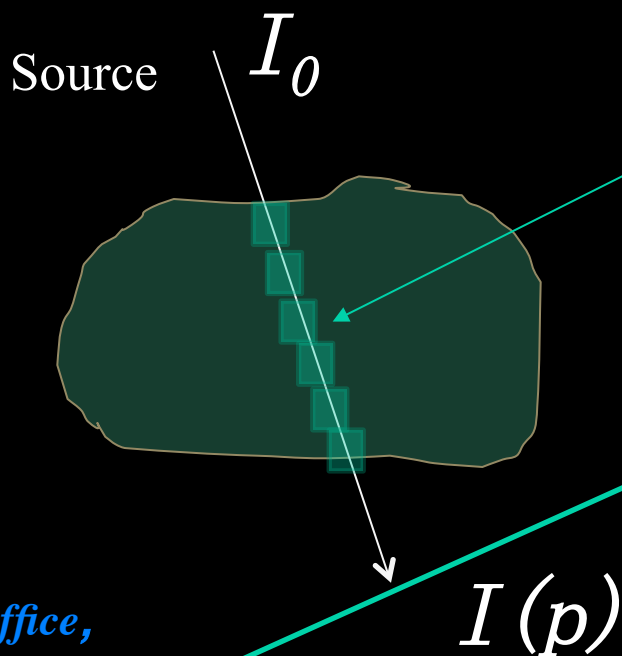
すなわち、

$$I(p) = I_0 \exp \left[- \int dx dy \mu(x, y) \delta(x \cos \theta + y \sin \theta - p) \right].$$

物体通過後 物体通過前

線減弱係数

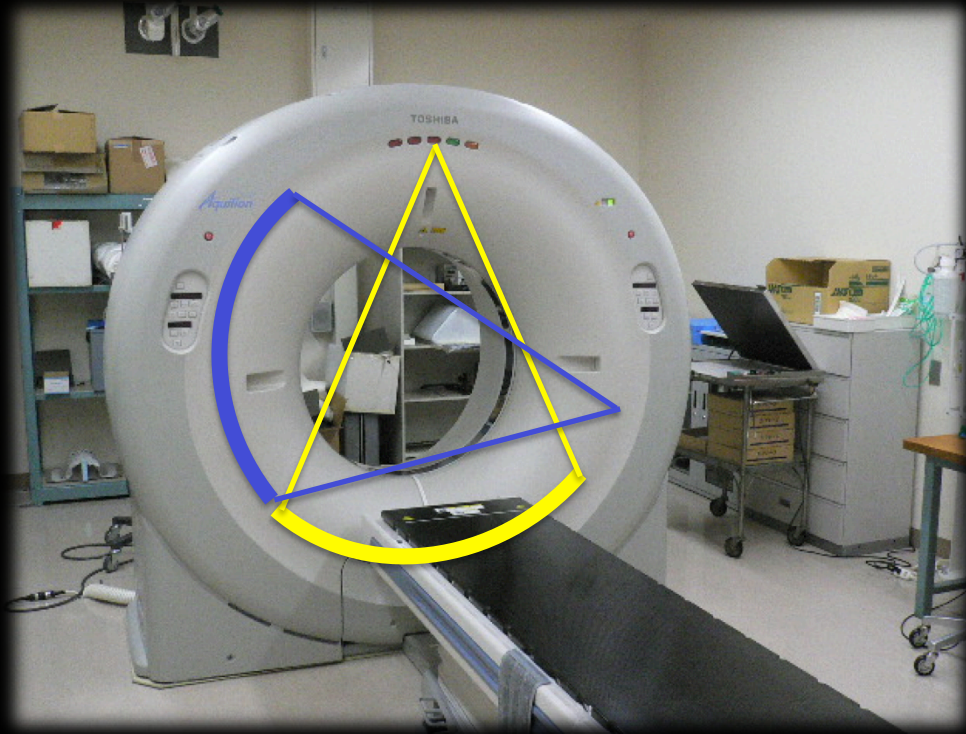
$$-\ln(I(p)/I_0) = \int dx dy \mu(x, y) \delta(x \cos \theta + y \sin \theta - p).$$



CT再構成とは、物体を通過してきたX線の強度から、その物体内部の線減弱係数分布を推定すること



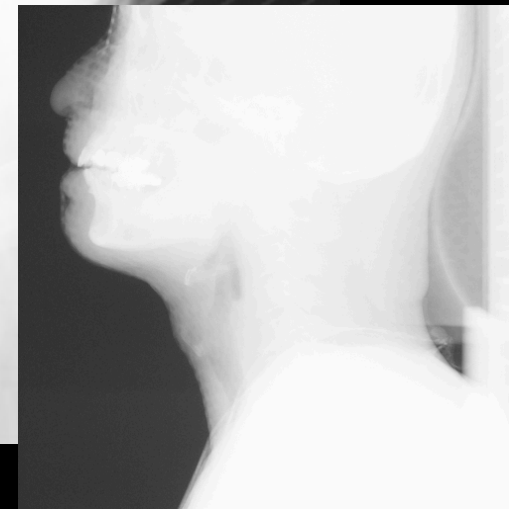
CT system



Sinogram

→ Detector profile

Projection ↓

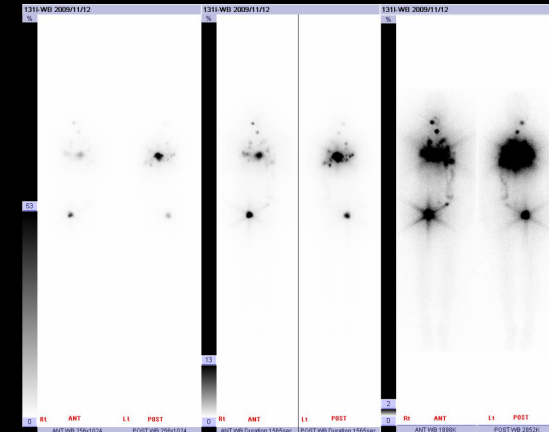


低 ← 減弱係数 → 高

Radio Isotope (RI)を利用した診断:核医学

◆ シンチグラム

- ✓ ^{67}Ga , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{111}In , ^{123}I , ^{201}Tl など
- ✓ RIの組織親和性を利用した病変の診断

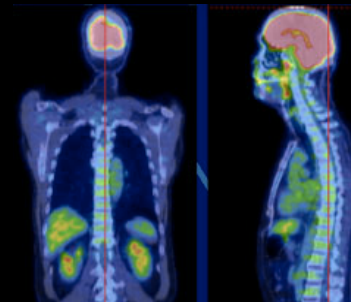


◆ SPECT撮影

- ✓ **Single Photon Emission Computed Tomography**
- ✓ 検出器をCTのように回転させてシンチグラムを撮影し、3次元再構成

◆ PET撮影

- ✓ **Positron Emission Tomography**
- ✓ 再構成原理はSPECTと同じ
- ✓ 消滅ガンマ線の利用

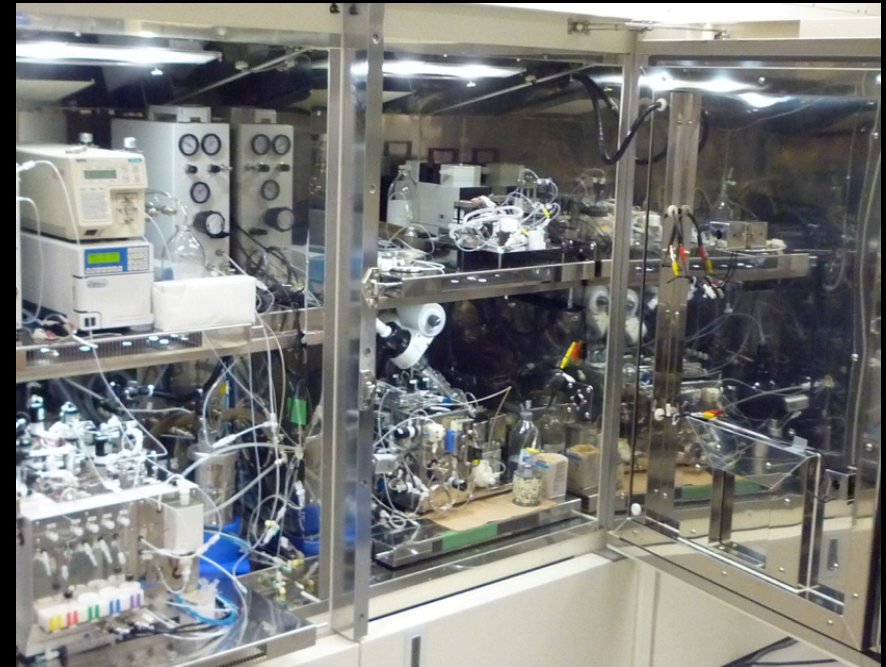
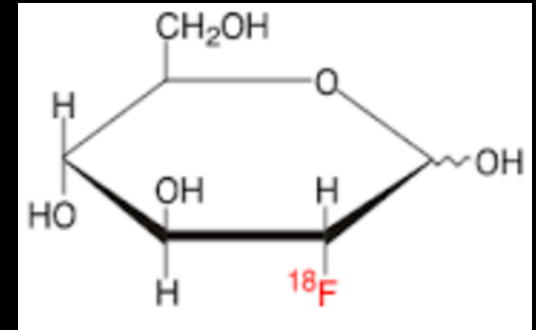


F-18 FDG-PET合成

FDG: フルオロデオキシグルコース

^{18}O (n, p) ^{18}F : 半減期109分

サイクロトロン(20MeV)



Synthesizer



F-18 FDG-PET



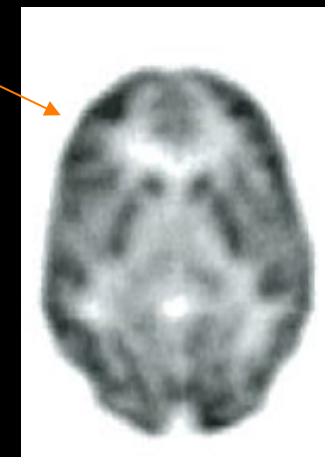
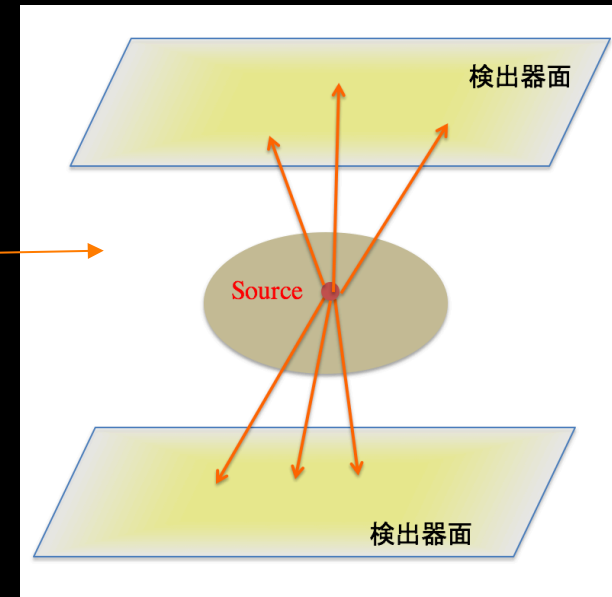
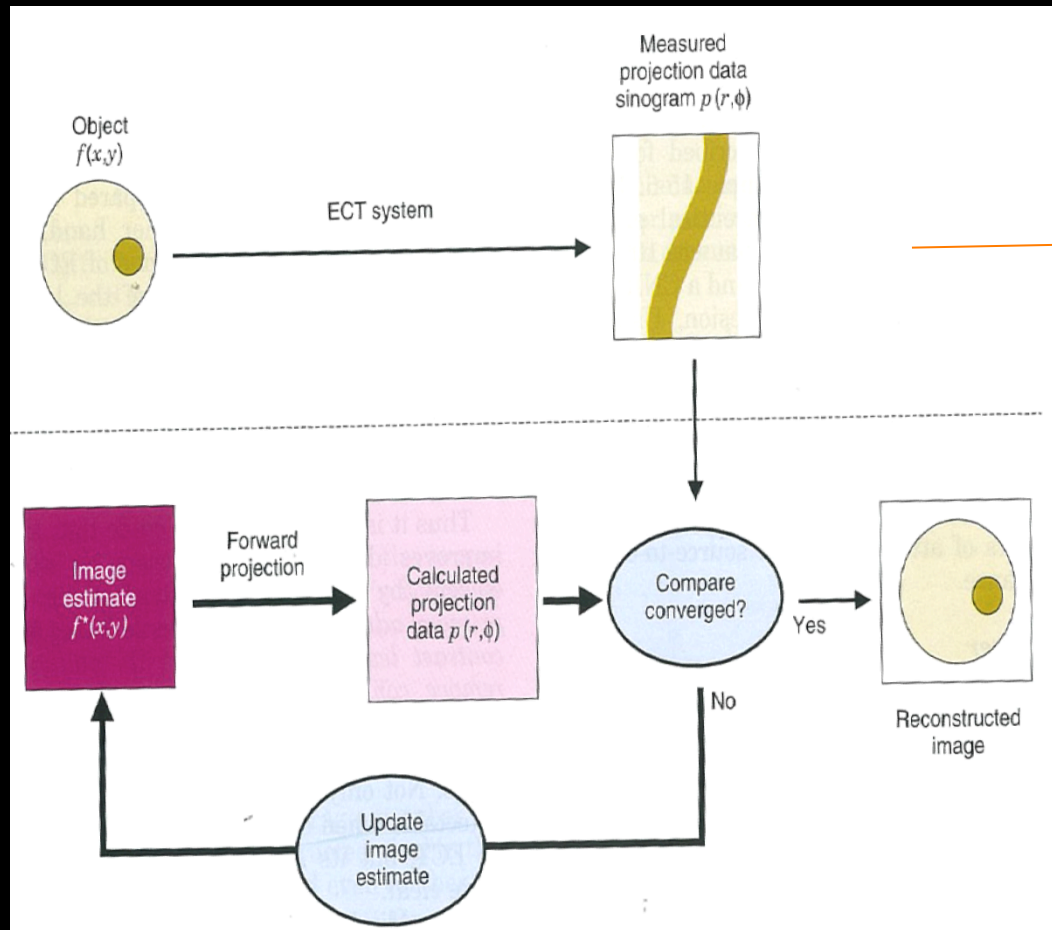
投与 (注入)
及び待機部屋



Active site
(腫瘍)



PET/SPECTの再構成原理



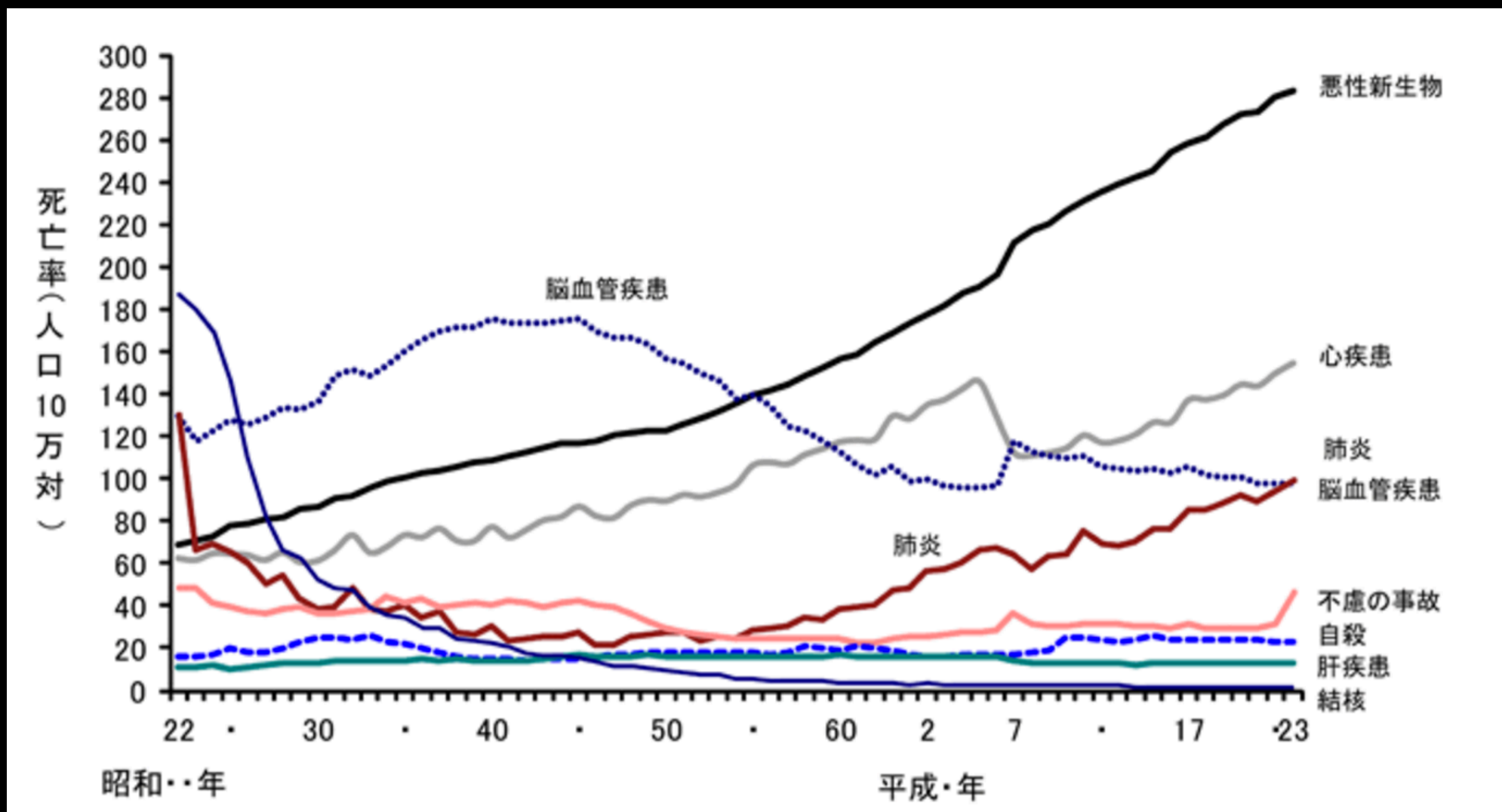
検出器カウントからソース（線源）の位置を推定する（逐次近似再構成）



放射線治療



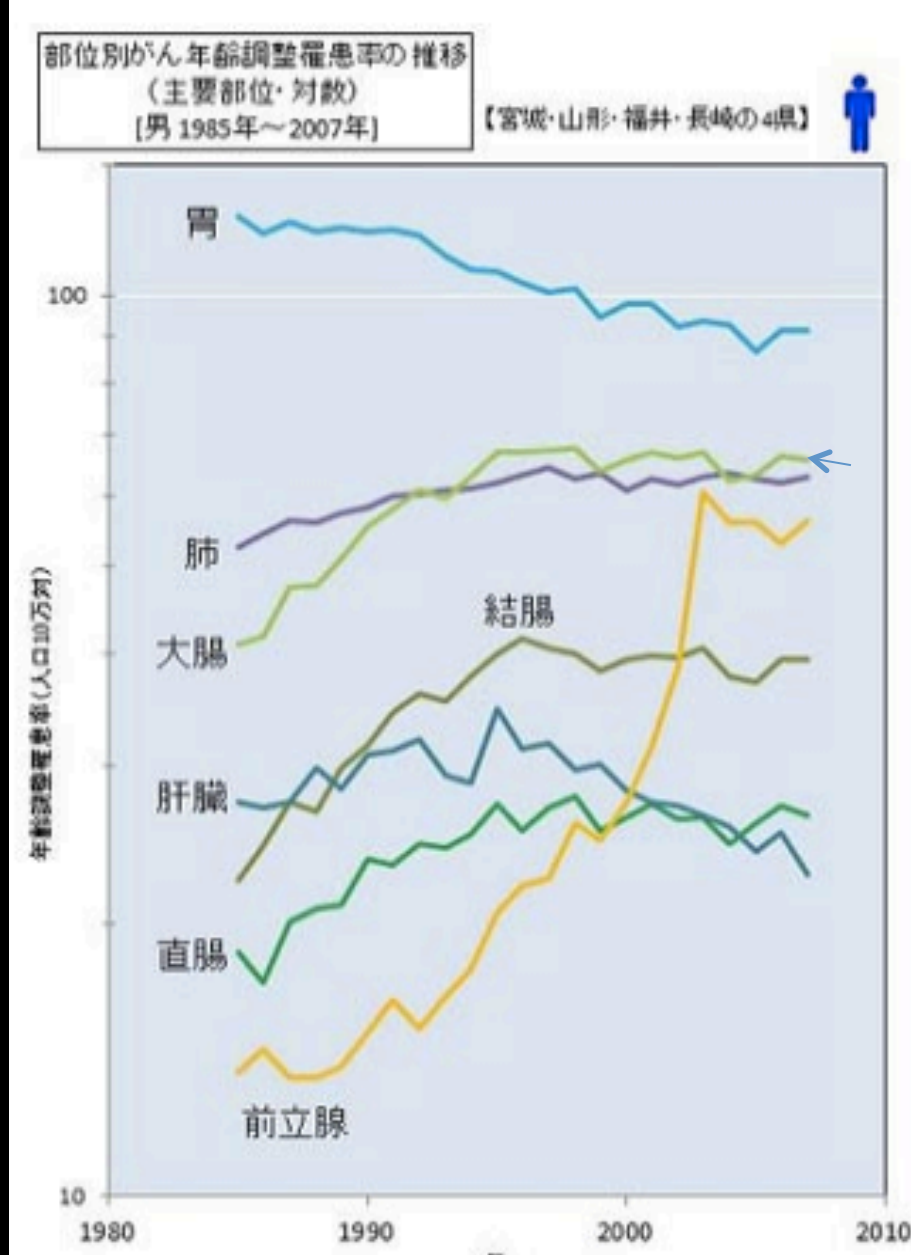
死亡率の推移



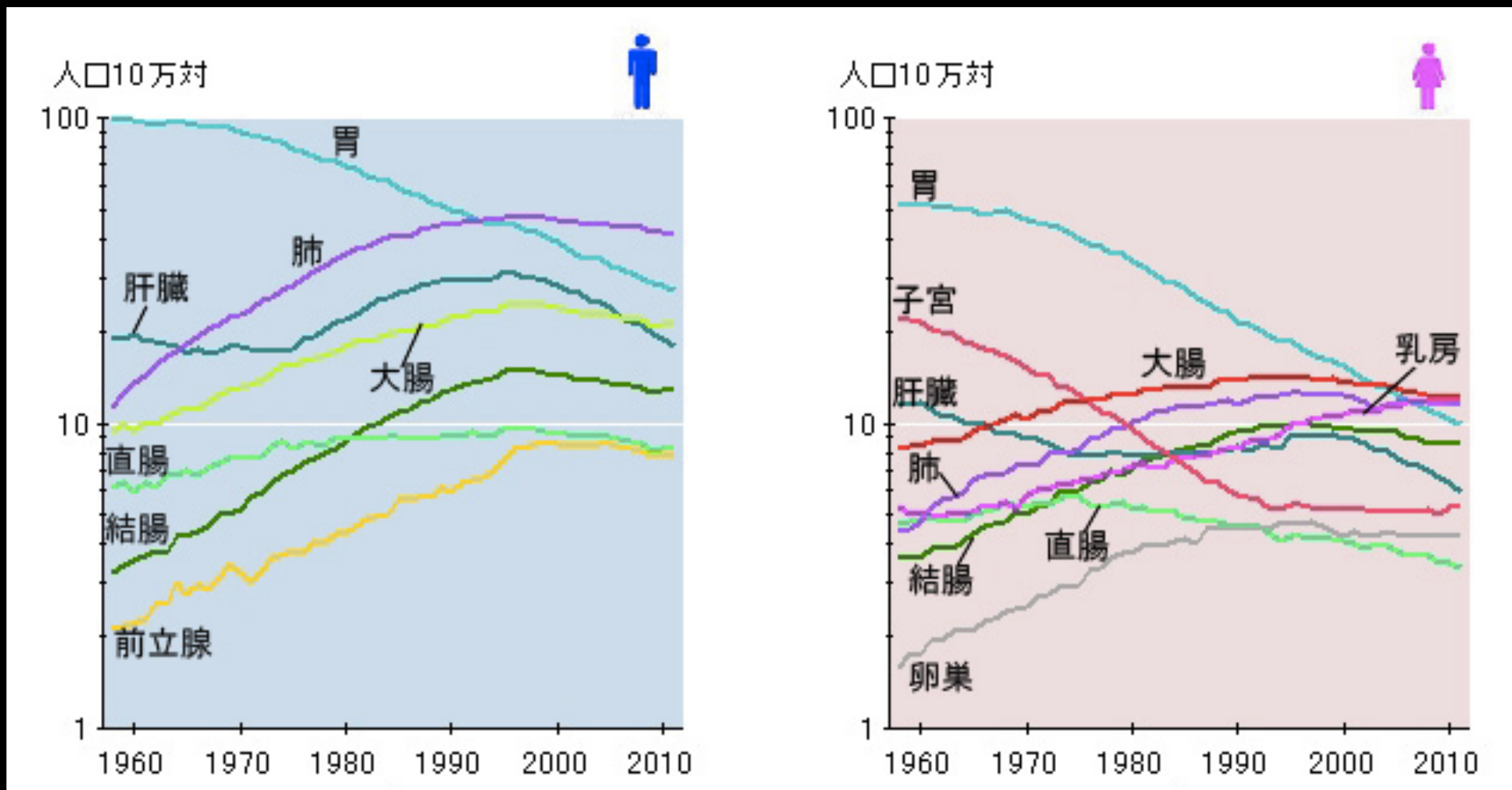
「平成23年度人口動態統計」より



がんの罹患率（4県データ）

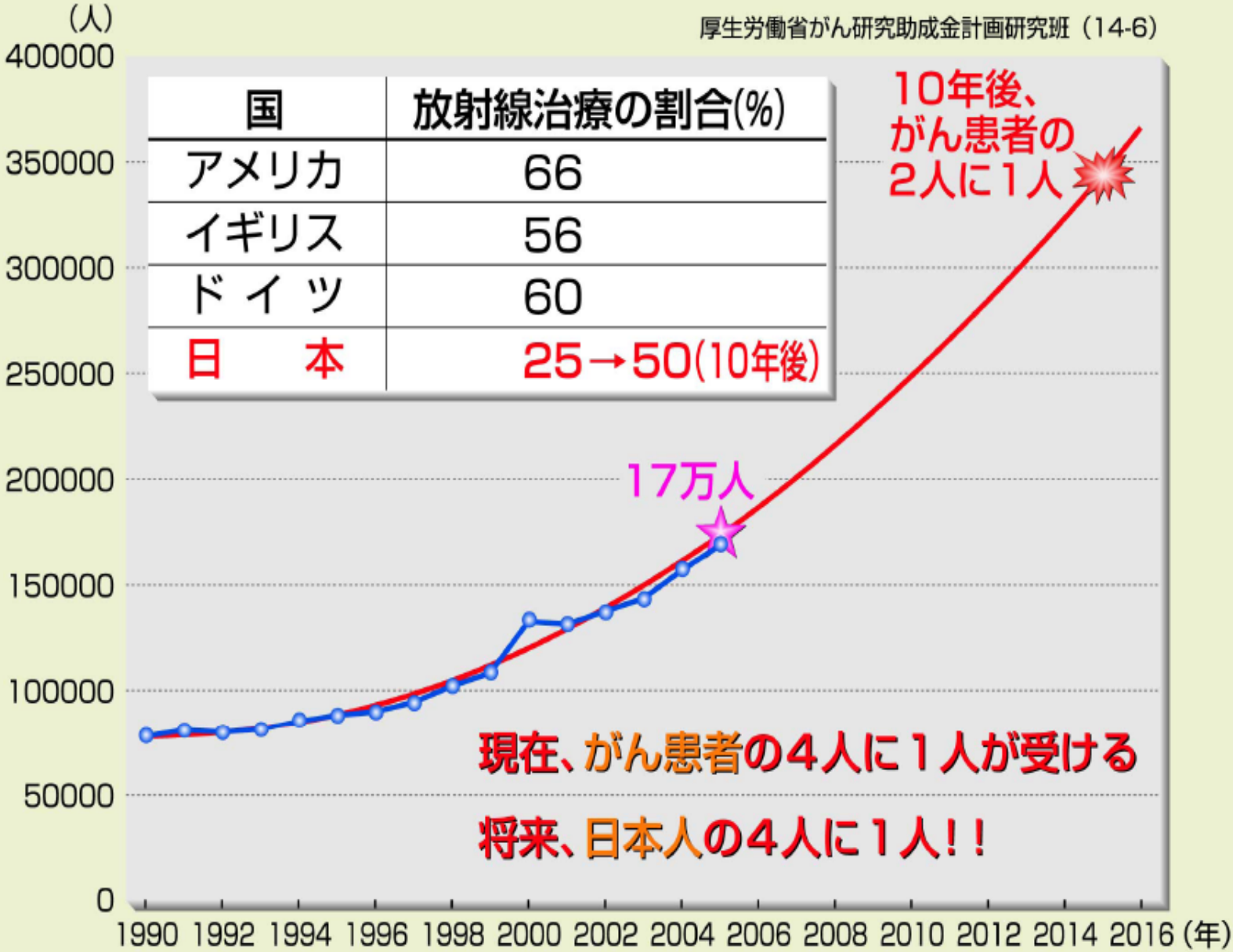


年齢調整死亡率



国立がんセンター「がん情報サービス」

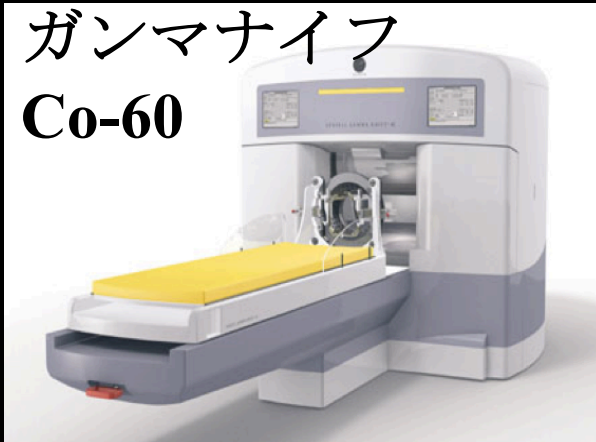




外部放射線治療

患者を寝台に乗せて固定し、外部から特定の部位に放射線を照射する方法

ガンマナイフ
Co-60



サイバーナ
(ロボット)



直線加速器(LINAC)



陽子線/炭素線

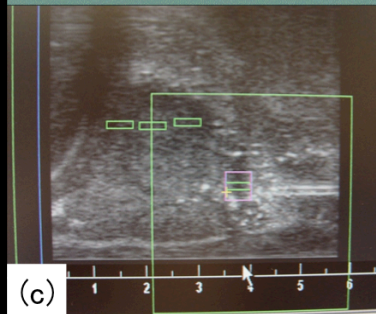
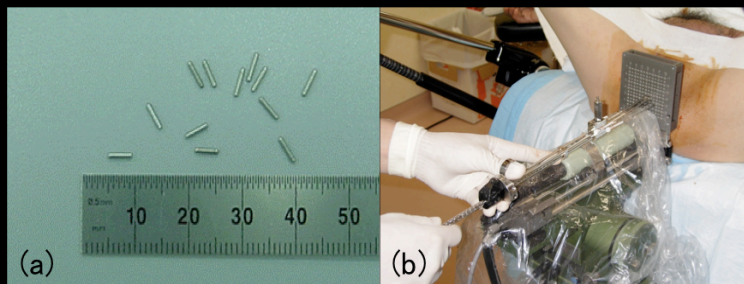


中性子線/その他の粒子線

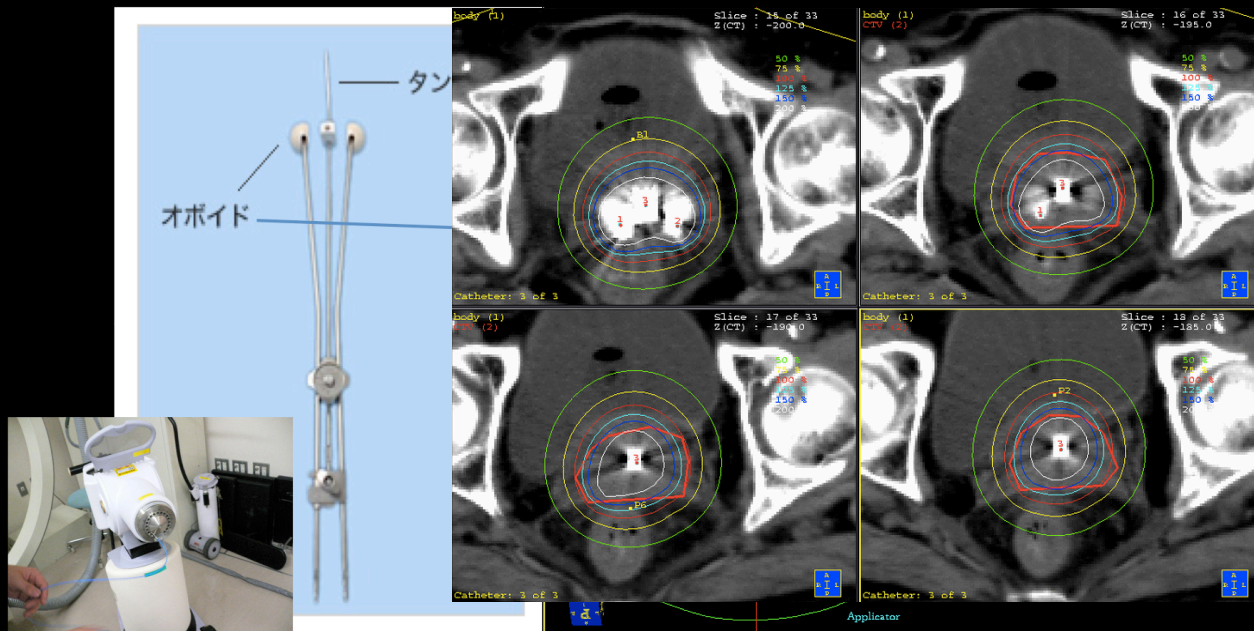


内部放射線治療

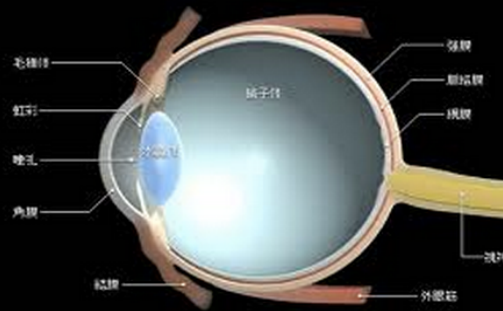
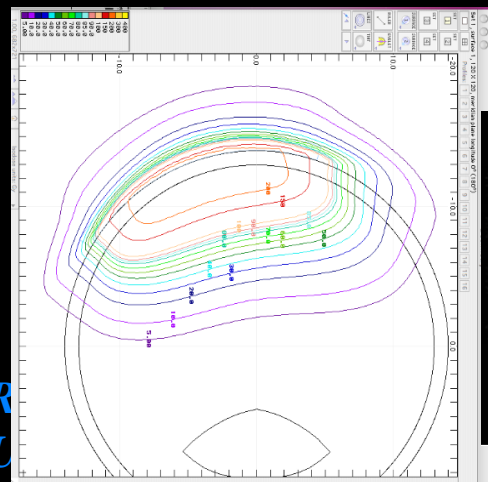
患者の体内に放射線源を埋め込んで治療を行う方法



前立腺がんに対する
I-125 小線源治療：
約80個の線源を超音波画像誘導化に挿入する。



遠隔操作密封小線源治療(RALS): アプリケーターを通して
Ir-192線源を遠隔操作で挿入(主に子宮頸がんが対象)。



Ru-106線源を
(網膜芽細胞腫) 眼球の強膜に縫合する



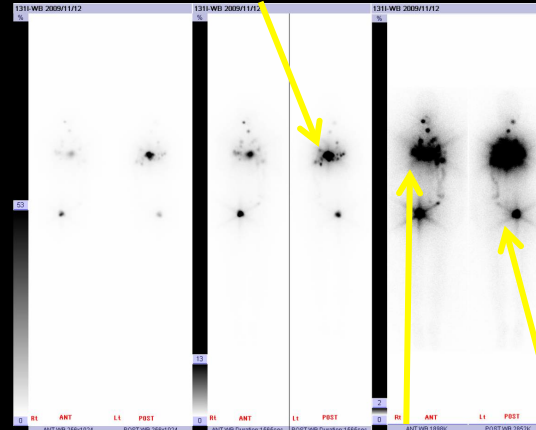
放射免疫療法

I-131 (30-150mCi /action)

経口投与



甲状腺がん



シンチグラフィ(γ-ray from I-131)

転移部位 (肺と骨)

Sr-89 (2.0MBq /kg)



Y-90 (14.8MBq /kg)



骨転移性疼痛のコントロール

低悪性度B細胞リンパ腫



診察



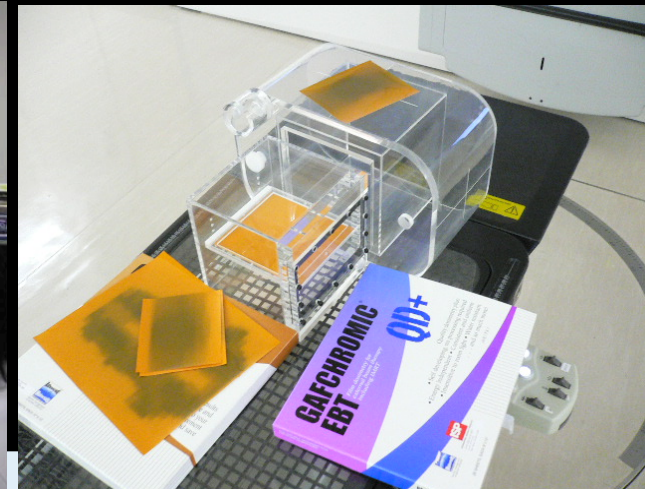
放射線治療の流れ



CT撮影



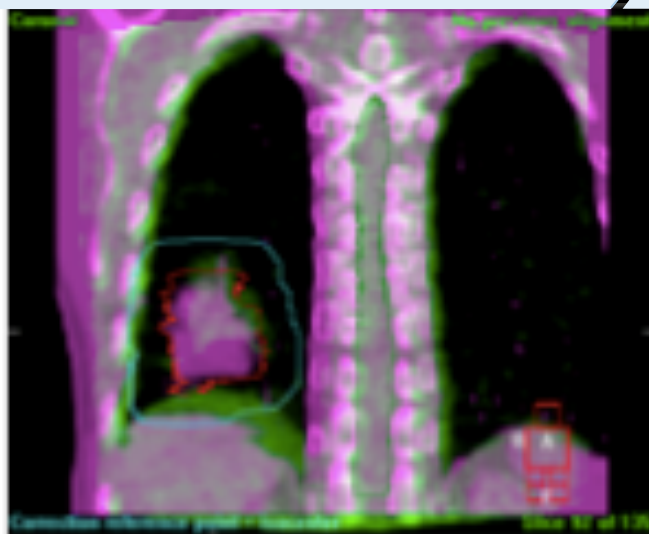
治療計画



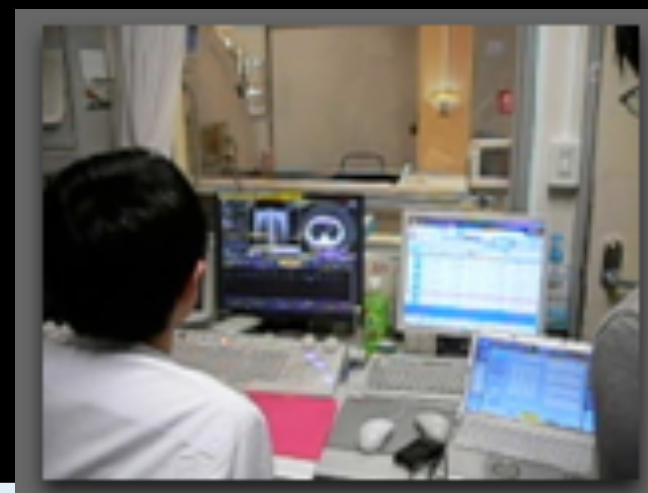
品質保証



セットアップ



照合

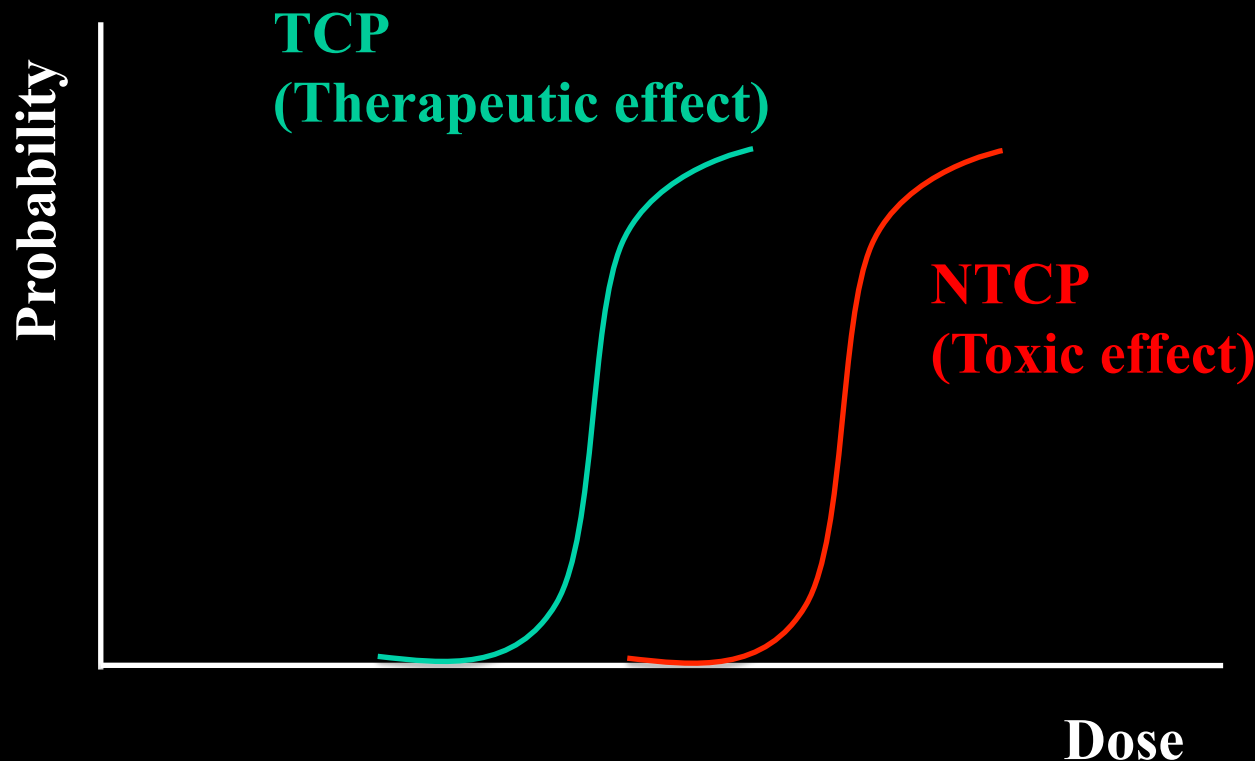


治療



Therapeutic Ratio (TR) 治療可能比

$$\text{TR} = \frac{\text{Tumor Control Probability (TCP)}}{\text{Normal Tissue Complication Probability (NTCP)}}$$



放射線治療では、TRが高いものが望ましい。すなわち
処方線量を腫瘍に的確に照射すること+正常組織を守ること



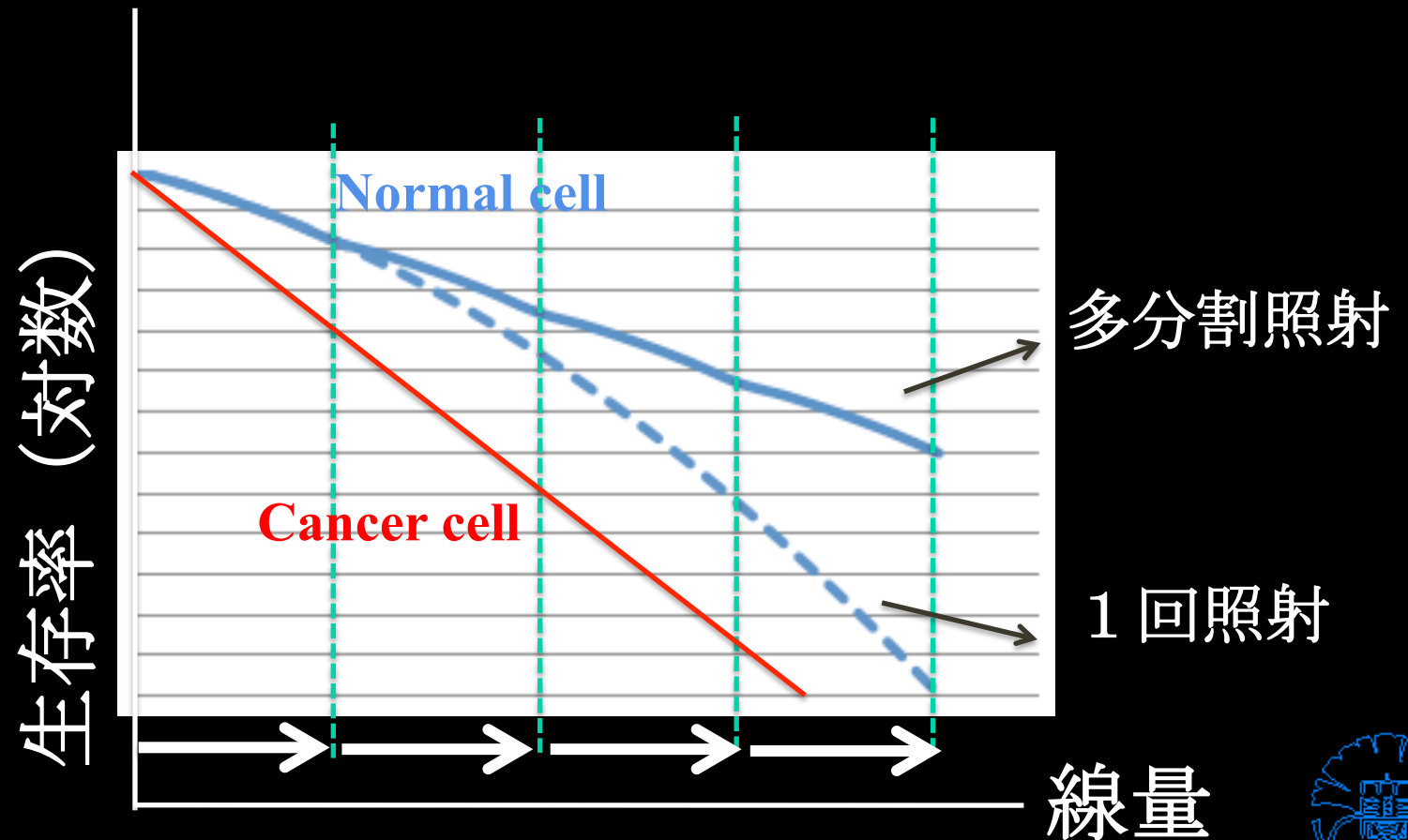
正常組織を守りつつ標的に大線量を投与可能とする要素とは

- 分割照射
- 局所照射



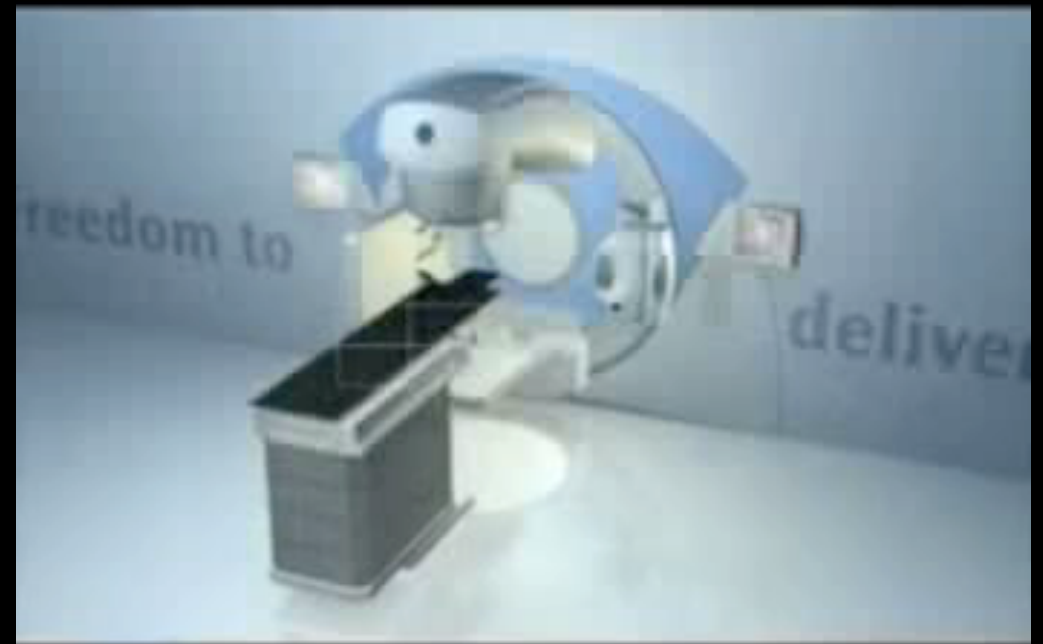
分割照射

同じ線量でも、一度に照射する場合のほうが分割して照射する場合よりも生存率は小さくなる。これは細胞の自己修復機能のためと考えられている。一方、がん細胞などDNAに異常のある細胞は、細胞損傷からの回復機能が正常細胞に比べて一般に低下している。このような回復機能が低下した細胞は、生存曲線がほぼ直線となり、このため分割照射の効果はほとんど見られなくなる。

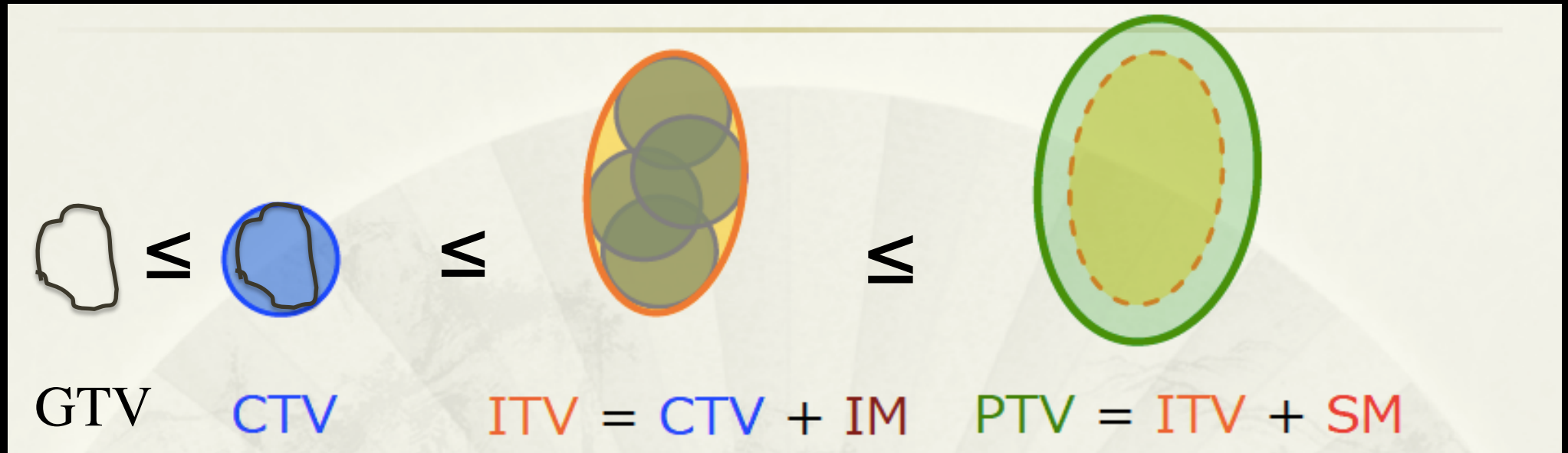


最新放射線治療装置 (X線-電子線治療用)

局所照射の実現に向けて



標的の抽出



Gross Tumor Volume (GTV)

Clinical Target Volume (CTV)

Internal Target Volume (ITV)

Planning Target Volume (PTV)

※リスク臓器（正常組織）では、planning risk volume (PRV) が定義される

IM: 治療中の腫瘍・臓器の運動を考慮したマージン

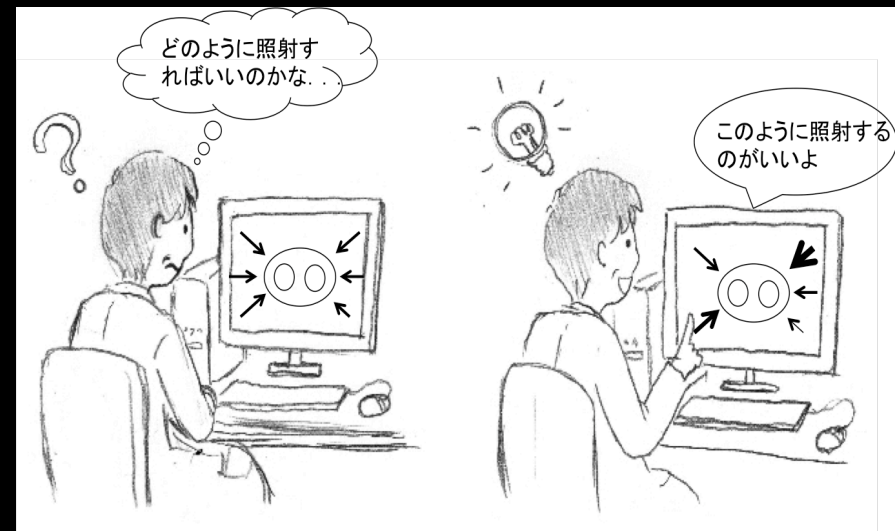
SM: 治療“期間”中の変化及びセットアップ誤差を考慮したマージン

マージンを少なくさせること



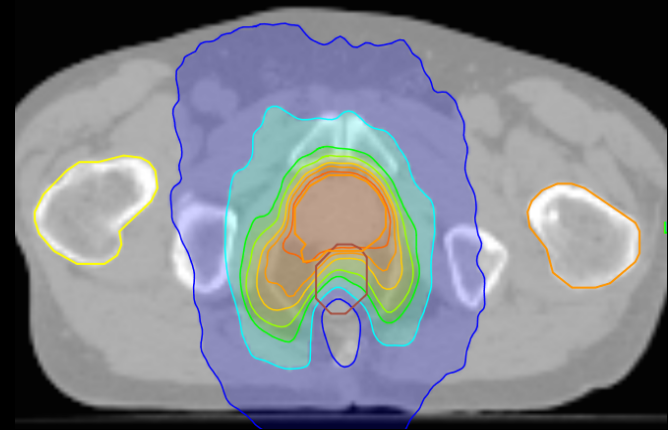
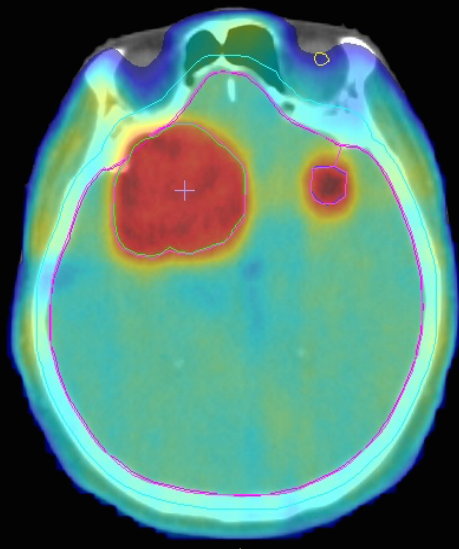
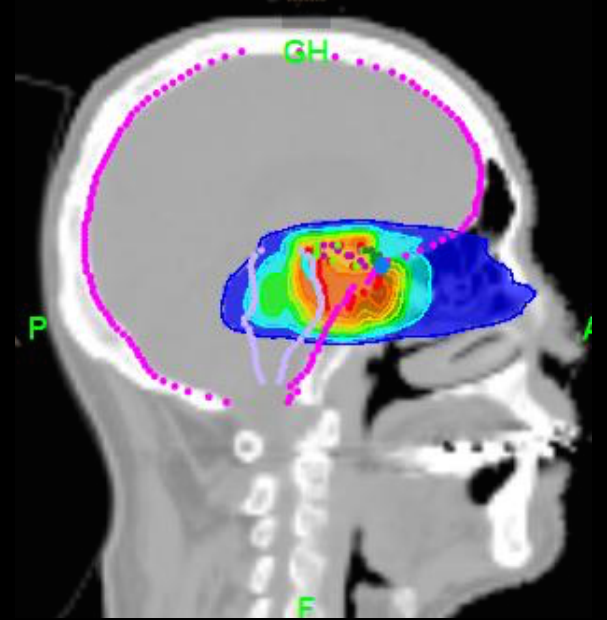
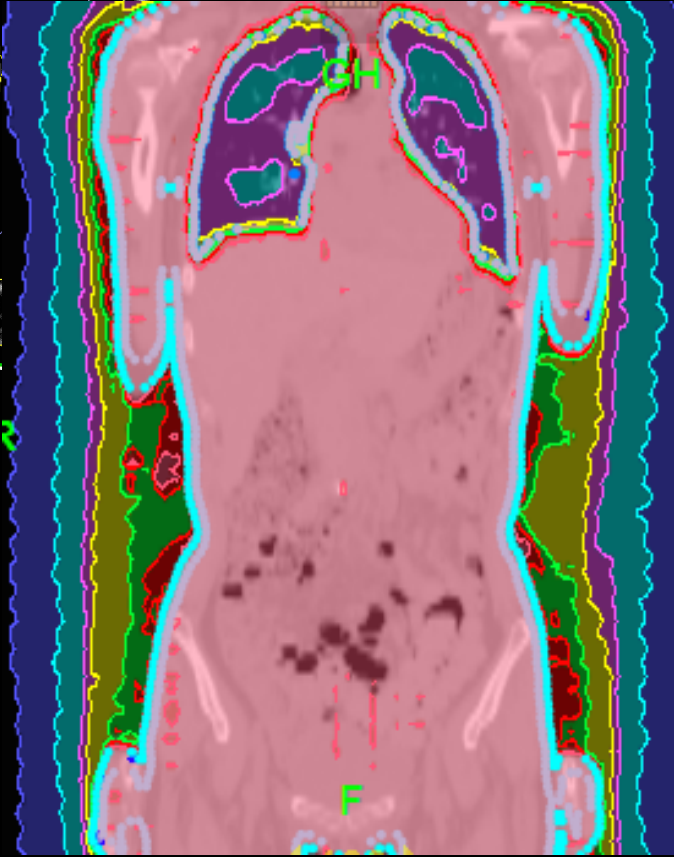
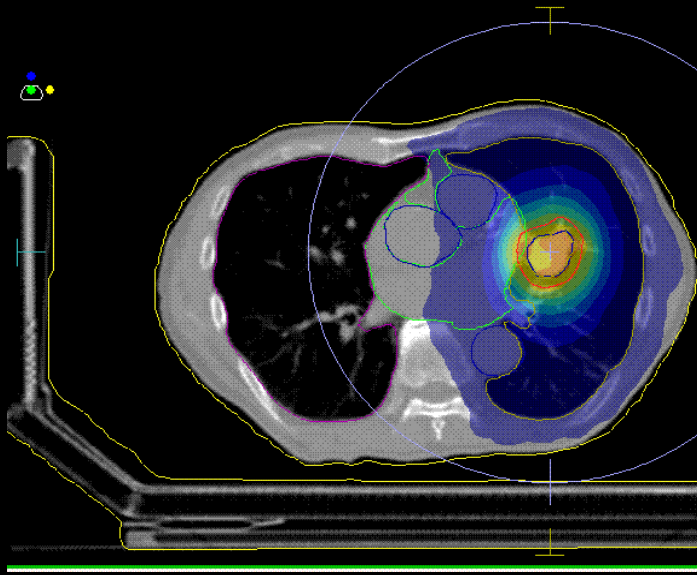
最適化問題

- ◆ 順方向の治療計画:
照射形状や照射強度を設定し、
体内の線量分布計算を行う。
- ◆ 逆方向の治療計画:
照射形状や照射強度は、体内線量分布
に対する制約により得られる。



→ 線量制約に対する照射形状・照射強度
を変数（パラメータ）とする目的関数
を定義し、その値が**最小**となる照射
形状・照射強度を求める最適化問題を
解く。





通常分割照射(1回2Gy前後)における正常組織の耐容線量

	体積	TD5/5 (5年間で5%に副作用を生ずる線量)			TD50/5 (5年間で50%に副作用を生ずる線量)			判定基準
		1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3	
骨	大腿骨頭	—		52 Gy	—		65 Gy	壊死
	顎関節	65 Gy	60 Gy		77 Gy	72 Gy		著明な開口障害
	肋・骨	50 Gy	—		65 Gy	—		病的骨折
皮膚	10 cm ²	30 cm ²	100 cm ²		10 cm ²	30 cm ²	100 cm ²	毛細血管拡張
	—		50 Gy		—		65 Gy	
		70 Gy	60 Gy	55 Gy	—		70 Gy	壊死, 潰瘍
脳・神経	脳	60 Gy	50 Gy	45 Gy	75 Gy	65 Gy	60 Gy	壊死, 梗塞
	脳幹	60 Gy	53 Gy	50 Gy	—		65 Gy	壊死, 梗塞
	視神経	50 Gy 体積効果なし			—		65 Gy	失明
	視交叉	50 Gy 体積効果なし			65 Gy 体積効果なし			失明
	脊髄	5 cm	10 cm	20 cm	5 cm	10 cm	20 cm	脊髄炎, 壊死
		50 Gy		47 Gy	70 Gy		—	
	馬尾神経	60 Gy 体積効果なし			75 Gy 体積効果なし			臨床的に明らかな神経損傷
	腕神経叢	62 Gy	61 Gy	60 Gy	77 Gy	76 Gy	75 Gy	臨床的に明らかな神経損傷
水晶体	10 Gy 体積効果なし			—		18 Gy	手術を要する白内障	
網膜	45 Gy 体積効果なし			—		65 Gy	失明	



通常分割照射(1回2Gy前後)における正常組織の耐容線量(つづき)

(付表1 つづき)

	体積	TD5/5 (5年間で5%に副作用を生ずる線量)			TD50/5 (5年間で50%に副作用を生ずる線量)			判定基準
		1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3	
頭頸部	中耳・外耳	30 Gy		30 Gy*	40 Gy		40 Gy*	急性漿液性耳炎
		55 Gy		55 Gy*	65 Gy		65 Gy*	慢性漿液性耳炎
	耳下腺	—	32 Gy*		—	46 Gy*		口内乾燥症 (TD100/5は50 Gy)
	喉頭	79 Gy*	70 Gy*		90 Gy*	80 Gy*		軟骨壊死
		—	45 Gy	45 Gy*	—		80 Gy*	喉頭浮腫
胸部	肺	45 Gy	30 Gy	17.5 Gy	65 Gy	40 Gy	24.5 Gy	肺炎
	心臓	60 Gy	45 Gy	40 Gy	70 Gy	55 Gy	50 Gy	心外膜炎
	食道	60 Gy	58 Gy	55 Gy	72 Gy	70 Gy	68 Gy	臨床的狭窄, 穿孔
腹部	胃	60 Gy	55 Gy	50 Gy	70 Gy	67 Gy	65 Gy	潰瘍, 穿孔
	小腸	50 Gy		40 Gy*	60 Gy		55 Gy	閉塞, 穿孔, 瘻孔
	大腸	55 Gy		45 Gy	65 Gy		55 Gy	閉塞, 穿孔, 潰瘍, 瘻孔
	直腸	100 cm ³ では体積効果なし		60 Gy	100 cm ³ では体積効果なし		80 Gy	高度の直腸炎, 壊死, 瘻孔, 狭窄
	肝臓	50 Gy	35 Gy	30 Gy	55 Gy	45 Gy	40 Gy	肝不全
	腎臓	50 Gy	30 Gy*	23 Gy	—	40 Gy*	28 Gy	臨床的腎炎
	膀胱	—	80 Gy	65 Gy	—	85 Gy	80 Gy	症候性の膀胱萎縮・体積減少

医療被曝



被ばくの分類

- 職業被ばく

- ✓ 放射線や放射性物質を扱っている職場で働いている人が、その労働の中で被ばくすること

- 医療被ばく

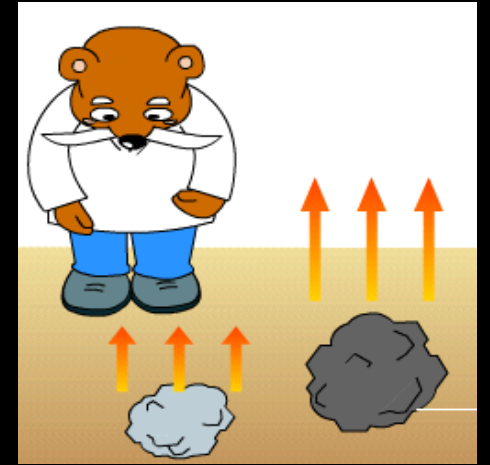
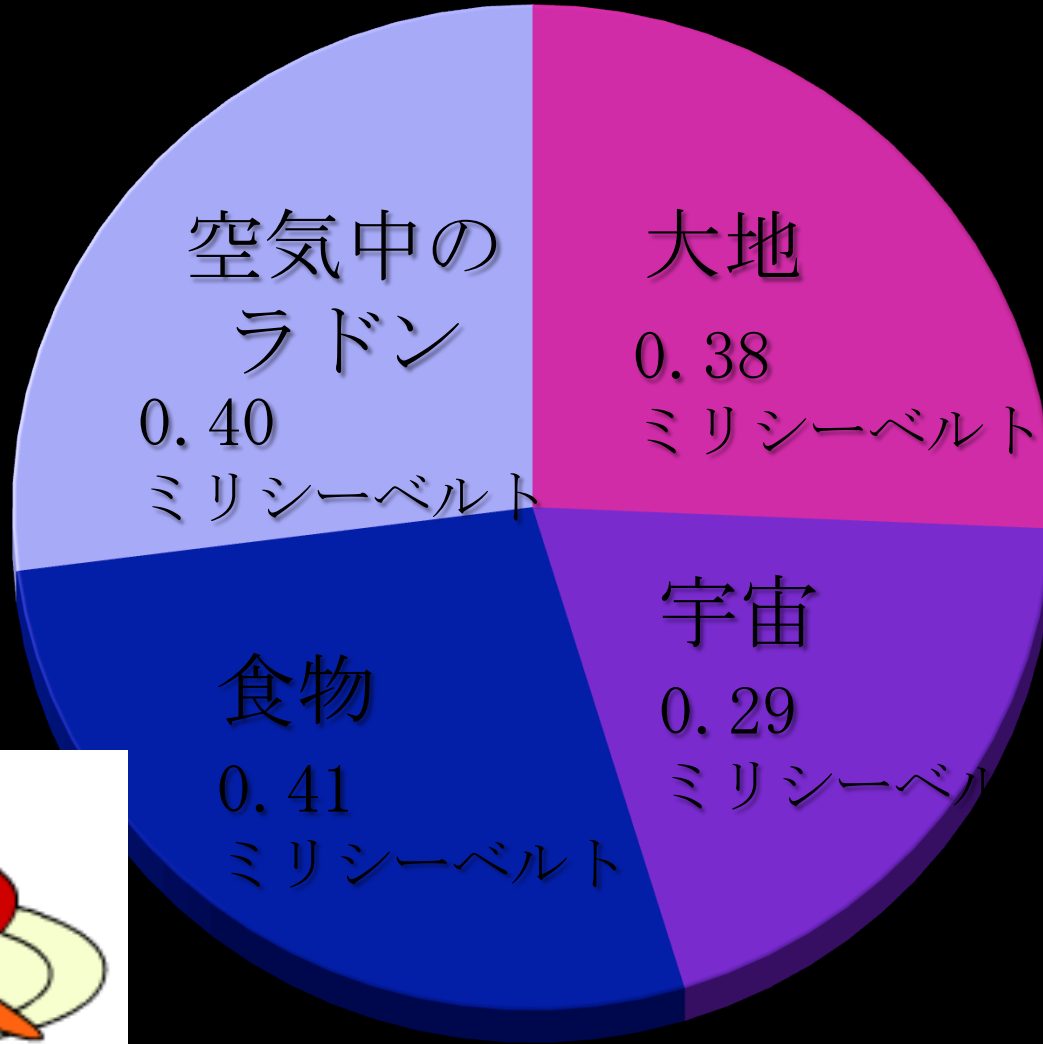
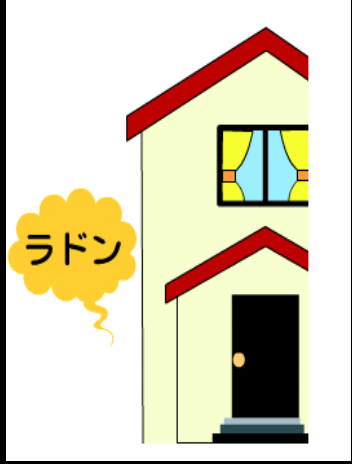
- ✓ 治療や診断を目的とした医療行為による被ばくのこと → 限度値を設けていない

- 公衆被ばく

- ✓ 職業被ばくや医療被ばく以外に人間の活動によって生じる被ばくのこと



日本の自然被ばく=年間1.5ミリシーベルト



業種別個人線量の実態

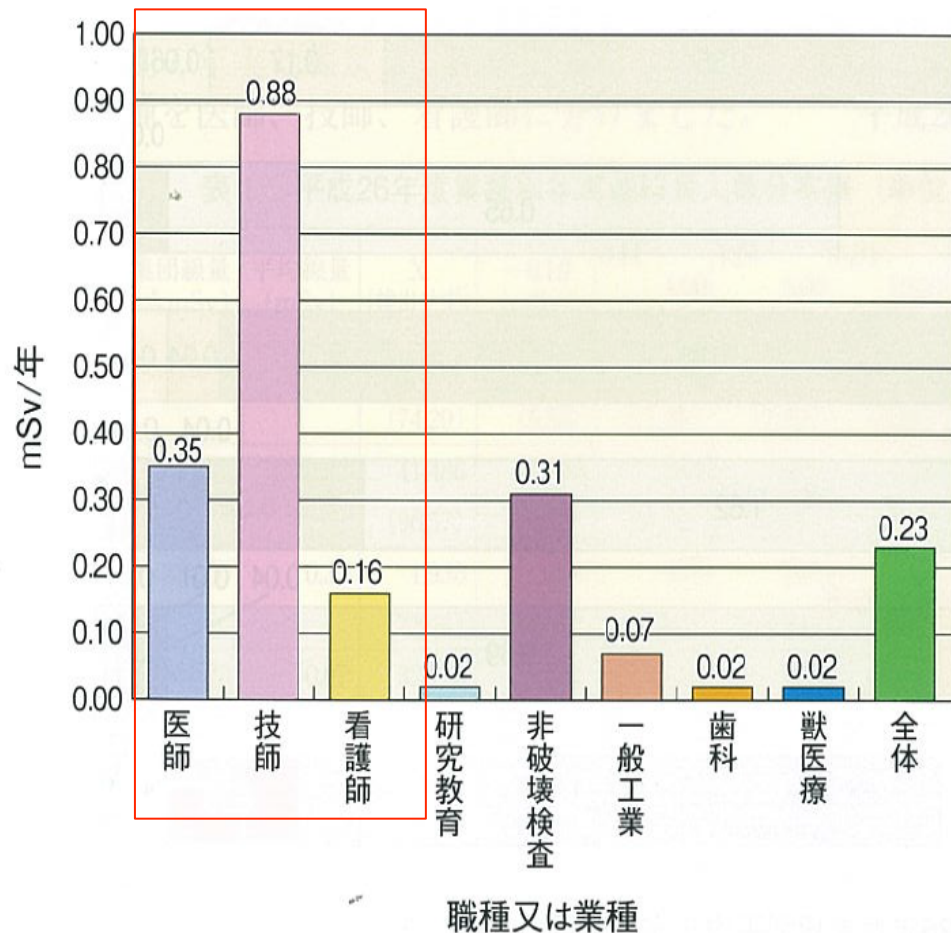


図3 平成26年度職種又は業種別平均年実効線量

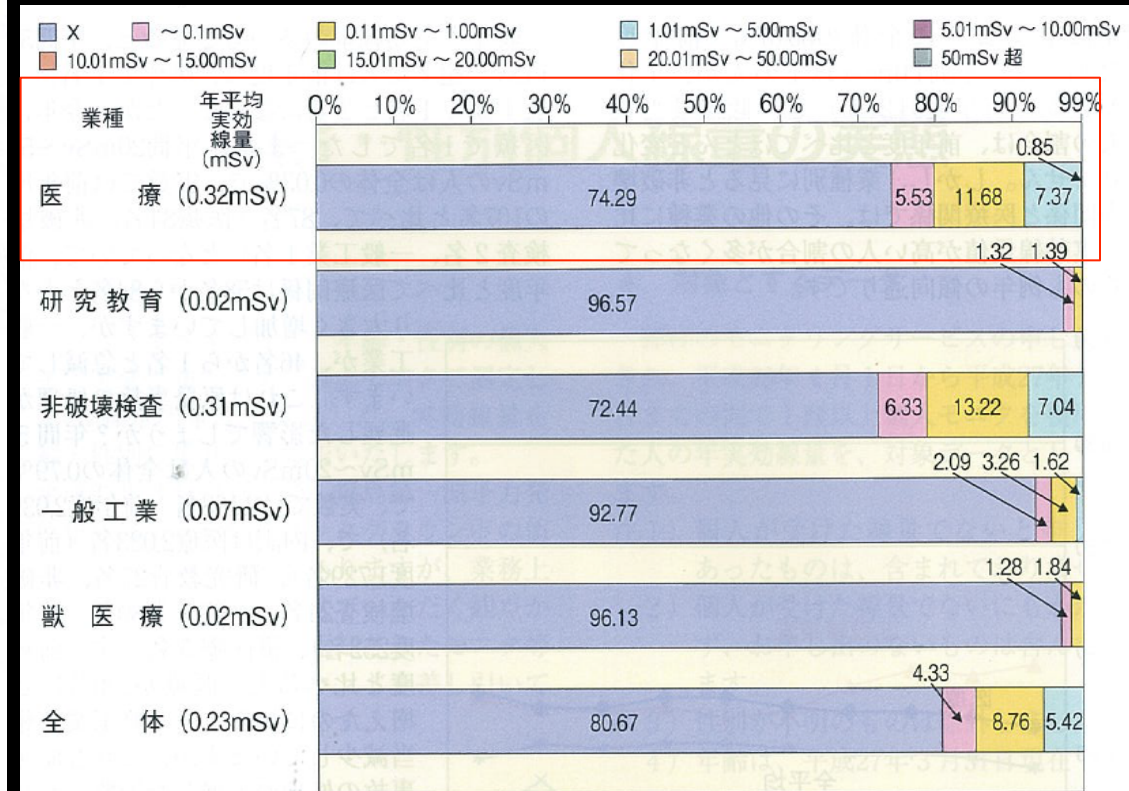


図1(a) 平成26年度業種別平均年実効線量の分布 (I)



医療スタッフの職業被ばく

- PET検査* : 3 ~ 5mSv/年
- IVR** : 3 ~ 5 mSv/年
- RI内用療法*** : 1 ~ 2 mSv/年

* Positron Emission Tomography

** Interventional Radiology

*** RadioImmunoTherapy



ref: 東京大学医学部附属病院におけるデータ



患者の医療被ばく

- 胸部エックス線撮影 : 0.16 ~ 0.24mSv
- 腹部エックス線撮影 : 2.02 ~ 2.49 mSv
- 消化管撮影(透視) : 10 ~ 20 mSv
- 胸腹部 CT : 10 mSv
- IVR* : 20~60 mSv/min
- PET検査 : 10 mSv
- 放射線治療 : 30 – 70 Sv

* Interventional Radiology

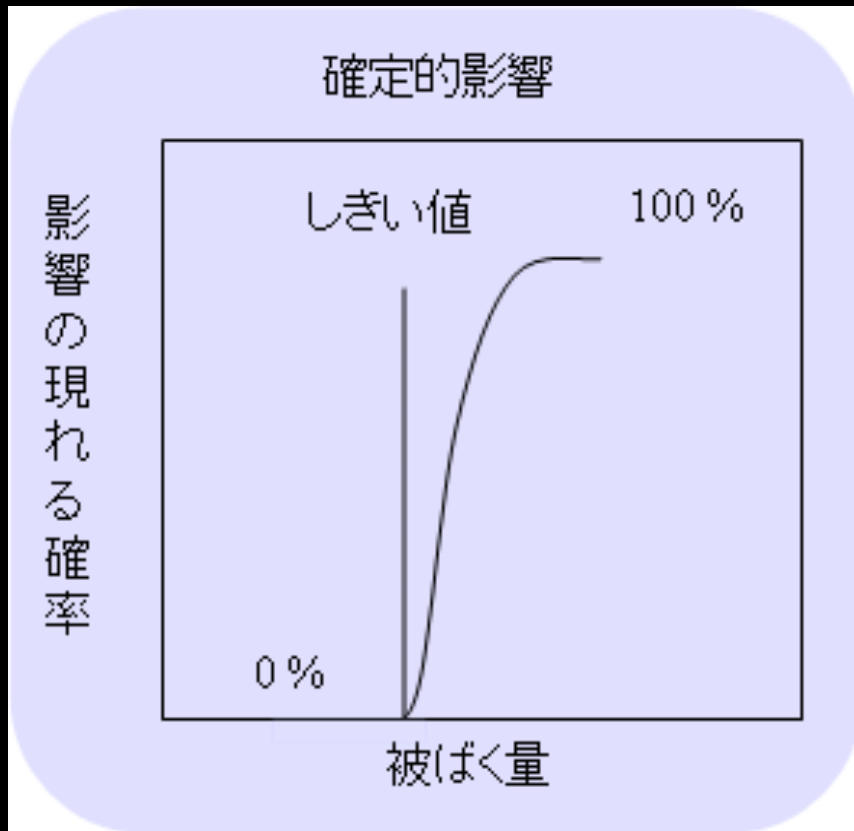
ref: 医療被ばくガイドライン



放射線の身体に対する影響

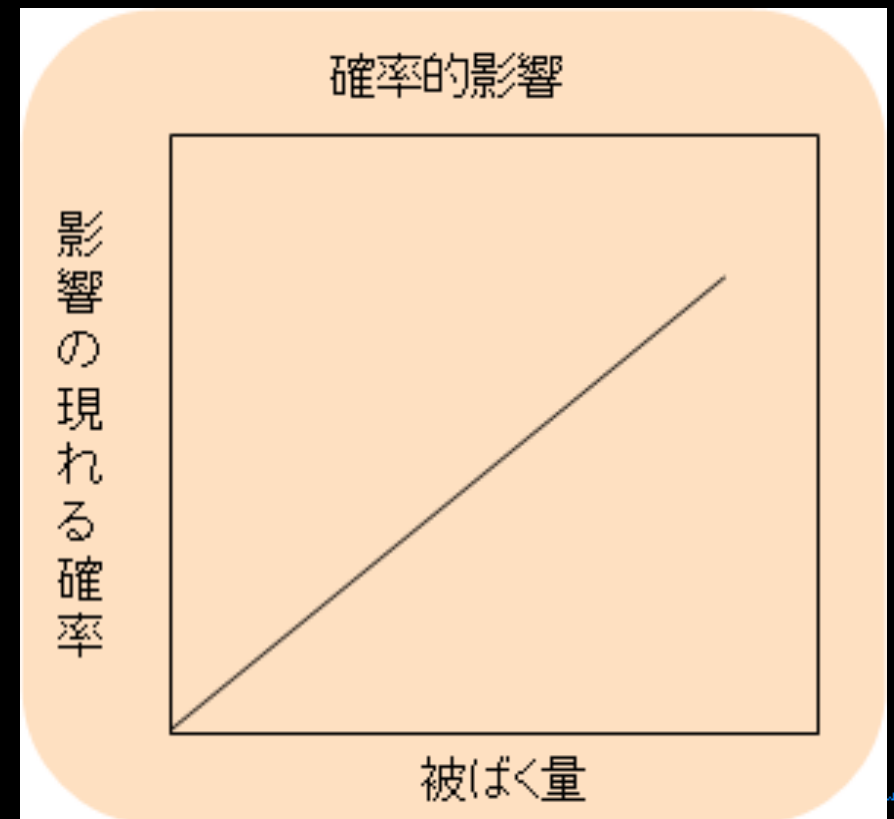
確定的影響

- ・ 脱毛、白内障、不妊など



確率的影響

- ・ 発がんと遺伝的影響のみ



確定的影響

- ◆ 全て身体的な影響である
- ◆ しきい値がある。では、どのくらいの被ばくで影響が出てくるか？

全身に0.2Svの被ばく ⇒ リンパ球の減少

精巣に0.2Sv以上の被ばく ⇒ 一次不妊, 4Sv以上 ⇒ 永久不妊

卵巣に0.7Sv以上の被ばく ⇒ 一次不妊, 3Sv以上 ⇒ 永久不妊

皮膚に3Sv以上の被ばく ⇒ 脱毛, 5Sv以上 ⇒ 紅斑、色素

胎児の被ばく

着床前期	受精後8日	胚死	0.1Sv
器官形成期	着床から8週目	奇形	0.1Sv
胎児期	8週～出生	発育遅延	0.5Sv
大脳形成期	8週～25週	精神遅滞	0.2Sv



確率的影響

発癌と遺伝的影響のみ

- ◆ しきい値なし(どんなに少ない被ばくでも確率はゼロにはならない)
- ◆ ただし、0.1Sv以下の被ばくで癌による死亡率の上昇の証拠はない
- ◆ ヒトにおいて、放射線による遺伝的影響の証拠は見つかっていない



確定的影響

皮膚

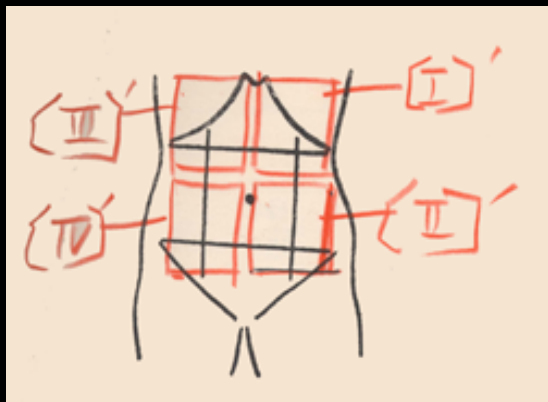


腦血管造影後

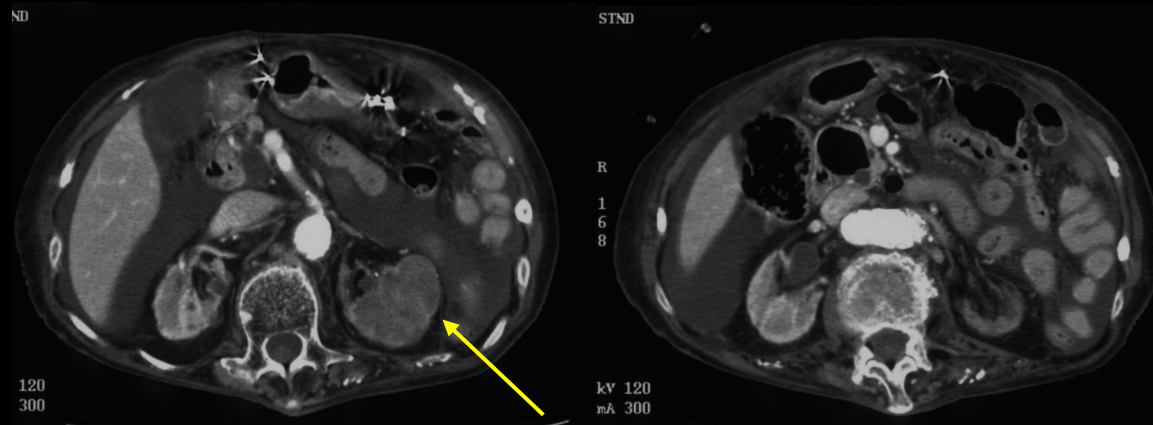


確率的影響

発癌

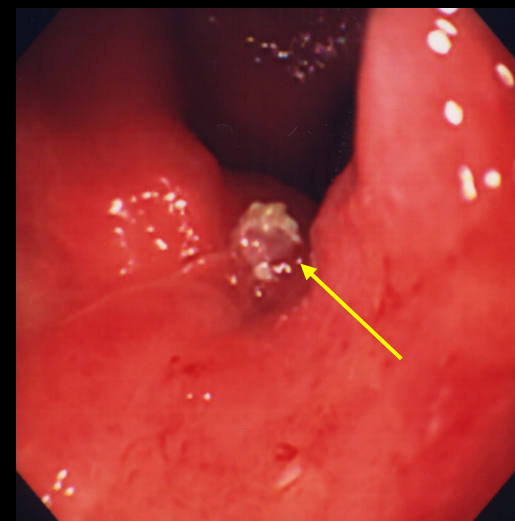


30年前に胃の悪性リンパ腫に
対し60Gyの放射線治療



放射線治療による

- 1) 腎萎縮→腎不全(確定的影響)
- 2) 胃癌、腎細胞癌の発生



線量限度

区分		職業被ばく	公衆被ばく
実効線量 (全身)	下記以外※	100 mSv/5年 ただし 50 mSv/年	1 mSv/年
	女子(妊娠可能者)	5 mSv/3月	
	妊娠～出産まで	1 mSv (内部被ばく)	
等価線量限度	皮膚	500 mSv/年	50 mSv/年
	目の水晶体	150 mSv/年	15 mSv/年
	妊娠中の女子腹部	1 mSv (妊娠申告後残り妊娠期間の胎児)	-

医療被曝は線量限度には加えない



医療放射線被曝量

- 診断領域の線量
 - 日本国民一人当たりの医療被ばくの実効線量は、1999年で**2.63 mSv/年**と推計
 - 世界平均(UNSCEAR2000)0.4 mSv/年の約7倍、ヘルスケアレベル1の平均1.2 mSv/年の約2倍
 - 運用面もふくめた最適化が必要



医療で線量限度は不要…？

- 1) 患者に明確な利益がある
- 2) 医療従事者は、放射線防護・管理について、十分な知識を持っている
- 3) 医療従事者は、被曝線量を少なくする努力を絶えずしている

という前提に基づく



“日本のがん患者のうち、3%以上は医療被曝によって生じている”

THE LANCET

Search for in [Advanced](#)

[Home](#) | [Journals](#) | [Collections](#) | [Audio](#) | [Conferences](#) | [Education](#) | [Resource Centres](#) | [For Authors](#)

The Lancet, [Volume 363, Issue 9406](#), Pages 345 - 351, 31 January 2004
doi:10.1016/S0140-6736(04)15433-0 [Cite or Link Using DOI](#)

[< Previous Article](#) | [Next Article >](#)

Risk of cancer from diagnostic X-rays: estimates for the UK and 14 other countries

Dr [Amy Berrington de González](#) DPhil [a](#) , Prof [Sarah Darby](#) PhD [b](#)

Summary

Background

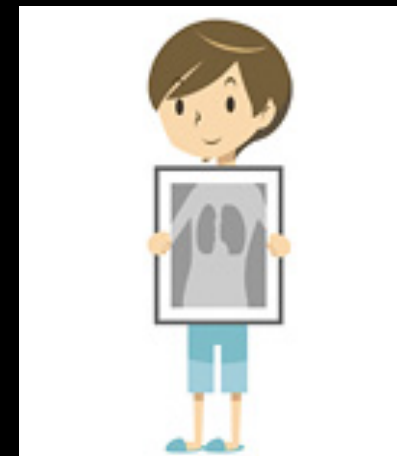
Diagnostic X-rays are the largest man-made source of radiation exposure to the general population, contributing about 14% of the total annual exposure worldwide from all sources. Although diagnostic X-rays provide great benefits, that their use involves some small risk of developing cancer is generally accepted. Our aim was to estimate the extent of this risk on the basis of the annual number of diagnostic X-rays undertaken in the UK and in 14 other developed countries.

Methods

We combined data on the frequency of diagnostic X-ray use, estimated radiation doses from X-rays to individual body organs, and risk models, based mainly on the Japanese atomic bomb survivors, with population-based cancer incidence rates and mortality rates for all causes of death, using life table methods.

Findings

Our results indicate that in the UK about 0.6% of the cumulative risk of cancer to age 75 years could be attributable to diagnostic X-rays. This percentage is equivalent to about 700 cases of cancer per year. In 13 other developed countries, estimates of the attributable risk ranged from 0.6% to 1.8%, whereas in Japan, which had the highest estimated annual exposure frequency in the world, it was more than 3%.



20歳以上の就労者はX線撮影を受けているが、その効果のほどは...?

国内のがん発症 3.2%

放射線診断 原因か

CT普及影響 15か国で突出

国内でがんにかかる人の3.2%は医療機関での放射線診断による被ばくが原因の発がんと推定される。ところが、英・オックスフォード大グループが行った初の国際的な研究で明らかになった。調査が行われた英米など十五か国の中でも最も高かった。CT（コンピュータ断層撮影法）＝ミニ

英オックスフォード大推定

研究は各国のエックス線、CTなど放射線検査の頻度や検査による被ばく量、放射線の被ばく量と発がん率の関係についてのデータなどを基に、検査に伴う七十五歳までの発がん者数を推定した。日本は年間七千五百八十七件でがん発症者の3.2%としている。日本以外では英国、ポ

ランドがともに0.6%で最も低く、米国0.9%、最も高いクロアチアでも0.8%だった。日本は千人あたりの年間検査回数最多の千四百七十七回で、十五か国の平均

CTには検査回数や撮影枚数に制限がなく、機器の精度や技師の腕により被ば

CT 投資
過剰

精密な検査が可能でCTはがんの早期発見をはじめ脳卒中などの診断に革命的

読売新聞
2004.2.10



“幼児期にCT撮影を受けた経験のある場合、がん発生のリスクはそうでない場合に比べて1.24倍となる”

BMJ

BMJ 2013;346:f2360 doi: 10.1136/bmj.f2360 (Published 21 May 2013)

Page 1 of 18

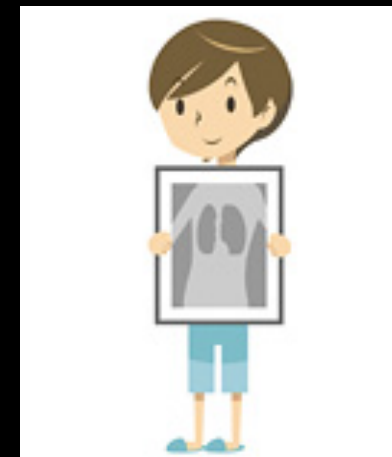
RESEARCH

Cancer risk in 680 000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians

 OPEN ACCESS

John D Mathews *epidemiologist*¹, Anna V Forsythe *research officer*¹, Zoe Brady *medical physicist*^{1,2}, Martin W Butler *data analyst*³, Stacy K Goergen *radiologist*⁴, Graham B Byrnes *statistician*⁵, Graham G Giles *epidemiologist*⁶, Anthony B Wallace *medical physicist*⁷, Philip R Anderson *epidemiologist*^{8,9}, Tenniel A Guiver *data analyst*⁸, Paul McGale *statistician*¹⁰, Timothy M Cain *radiologist*¹¹, James G Dowty *research fellow*¹, Adrian C Bickerstaffe *computer scientist*¹, Sarah C Darby *statistician*¹⁰

¹School of Population and Global Health, University of Melbourne, Carlton, Vic 3053, Australia; ²Department of Radiology, Alfred Health, Prahran, Vic, Australia; ³Medical Benefits Scheme Analytics Section, Department of Health and Ageing, Canberra, ACT, Australia; ⁴Department of Diagnostic Imaging, Southern Health, and Monash University Southern Clinical School, Clayton, Vic, Australia; ⁵Biostatistics Group, International Agency for Research on Cancer, Lyon, France; ⁶Cancer Epidemiology Centre, Cancer Council Victoria, Carlton, Vic, Australia; ⁷Diagnostic Imaging and Nuclear Medicine Section, Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, Yallambie, Vic, Australia; ⁸Data Linkage Unit, Australian Institute of Health and Welfare, Canberra, Australia; ⁹Faculty of Health, University of Canberra, Canberra, Australia; ¹⁰Clinical Trial Service Unit and Epidemiological Studies Unit, University of Oxford, Oxford, UK; ¹¹Medical Imaging, Royal Children's Hospital Melbourne, Parkville, Vic, Australia



CT撮影は臨床的に絶対的な理由がある状況に限るべき。また、全てのCT撮影は、その質と臨床の意義のバランスで最適化されるべき。

放射線治療を受けた患者の 二次発がんリスク

◆ がん治療の発展

✓ がん患者の長寿命化

→放射線治療により 二次発がんリスクの懸念

RADIATION RESEARCH 167, 12-42 (2007)

0033-7587/07 \$15.00

© 2007 by Radiation Research Society.

All rights of reproduction in any form reserved.

Secondary Carcinogenesis in Patients Treated with Radiation: A Review of Data on Radiation-Induced Cancers in Human, Non-human Primate, Canine and Rodent Subjects

Herman Suit,^{a,1} Saveli Goldberg,^a Andrzej Niemierko,^a Marek Ancukiewicz,^a Eric Hall,^b Michael Goitein,^a Winifred Wong^a and Harald Paganetti^a

^a Department of Radiation Oncology, Massachusetts General Hospital, Harvard Medical School, Boston, Massachusetts; and

^b Center for Radiological Research, Columbia University, New York, New York



放射線治療を受けた患者の 二次発がんリスク

◆ がん治療の発展

✓ がん患者の長寿命化

→放射線治療により二次発がんリスクの懸念

現在報告がある14の分析結果から言えること

1. 一般人に対する放射線治療を受けた患者の二次発がんリスクは全体で**1.31**
2. 放射線治療を受けていない患者に対するそれは**1.08**
3. **1Gy**に比べ**60Gy**を受けた患者のほうがリスクは増加
4. 胃がんと膵がんに対する二次発がんリスクの線量依存性を観測
5. 直腸がん、膀胱がん、腎がんは線量依存性が見られず
6. 一般人に対する放射線治療を受けた患者の二次発がんリスクは、子宮頸がん(**60Gy**)、精巣がん(**22.5Gy**)、強直性脊椎炎(**2.2Gy**)、出血性子宮症(**5.2Gy**)で有意に増加。二次的な直腸がんは、子宮頸がん、精巣がんと出血性子宮症でのみ増加。二次的な肺がんは、子宮頸がん(**0.3Gy**)、消化性潰瘍(**1.8Gy**)、出血性子宮症(**2.5Gy**)で有意に増加。

→ 組織間のリスクの多様性を示している



低線量・低線量率に対する がん発生(がん死亡率)推定の難しさ: サンプルサイズ

- ◆がん死亡リスク: 約30 % (厚労省人口動態統計)
- ◆放射線誘発がん死亡率: 4.14 % / Sv (ICRP Publication 103)

100mSvずつ被ばくした場合の
生涯がん死亡リスク

$$0.3 + 0.0414 \times 0.1 = 0.30414$$

= 30.4 %



ばらつきに埋もれてしまう



低線量・低線量率に対する がん発生(がん死亡率)推定の難しさ: サンプルサイズ

疫学調査による真理の追及には莫大なデータが必要

理論と実験による基礎研究との両面からの取り
組み



医学物理学



医学物理学と医学物理士

■医学物理士の定義

1 医学物理（学）について

医学物理学とは理工学の知識・成果を医学に応用・活用する学術分野である。

2 医学物理士について

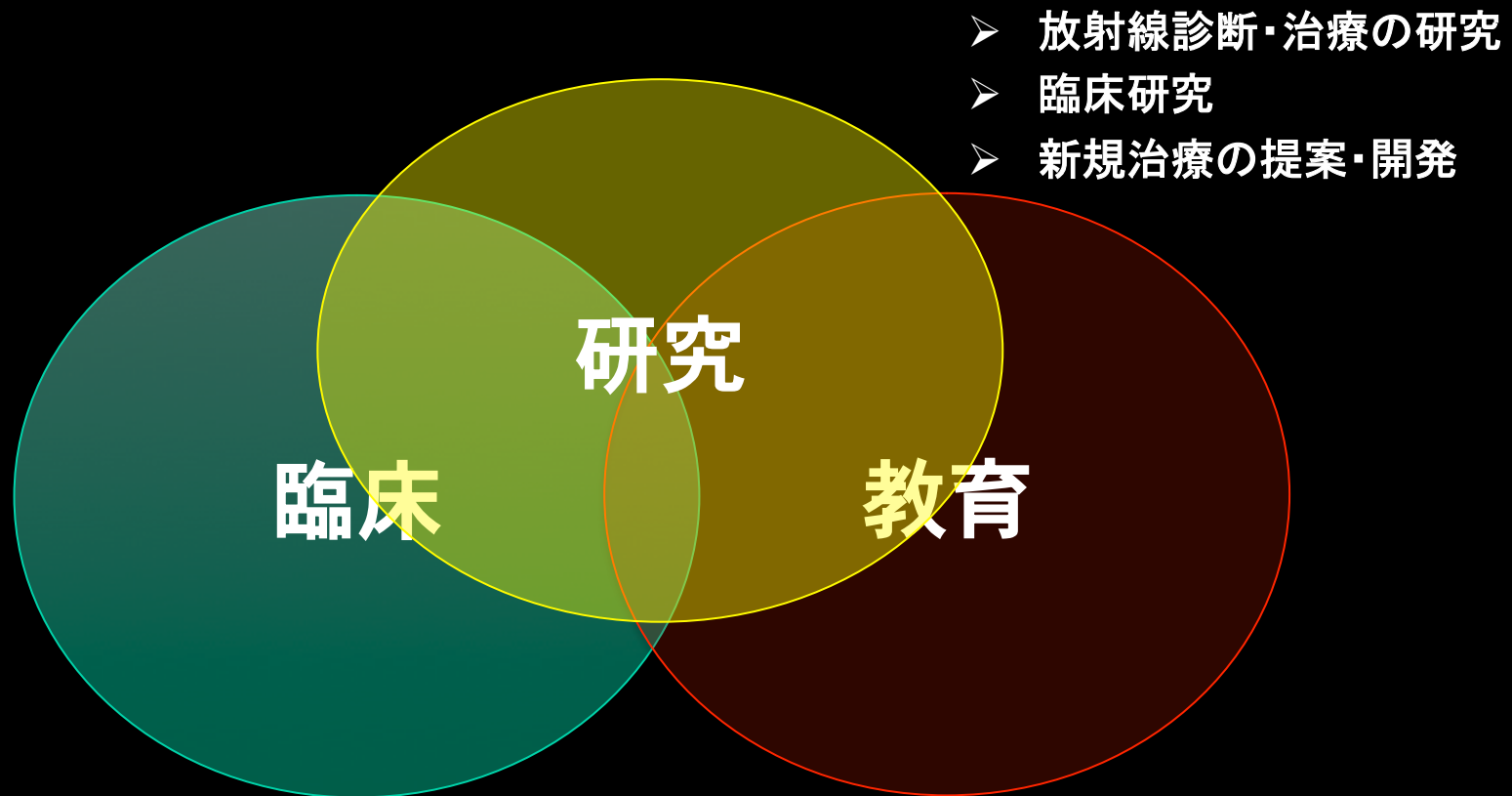
医学物理士とは、放射線を用いた医療が適切に実施されるよう、医学物理学の専門家としての観点から貢献する医療職である。

診断分野においては、医師と連携を取り、診断的有用性と安全性のバランスを保ち、診療放射線技師と協力し、診断装置および診断画像の品質管理・保証を実施する。また、放射線診断に関する医学物理学的研究開発を行う。

治療分野においては、医師と連携を取り、治療計画の最適化を行い、診療放射線技師および放射線治療品質管理士と協力し、治療装置の品質管理・保証を行う。また、放射線治療に関する医学物理学的研究開発を行う。さらに、患者体内での吸収線量に関する位置的精度と量的精度が臨床上必要な範囲に収まっていることを確認し、医師の処方通り治療が行われていることを担保する。



医学物理士の役割



- 放射線診断・治療の研究
- 臨床研究
- 新規治療の提案・開発

臨床

研究

教育

- 新規治療装置・システムのコミッショニング
- 品質管理・品質保証
- 治療計画の立案と検証

- 大学院教育(医学物理士養成)
- 医療スタッフへの教育

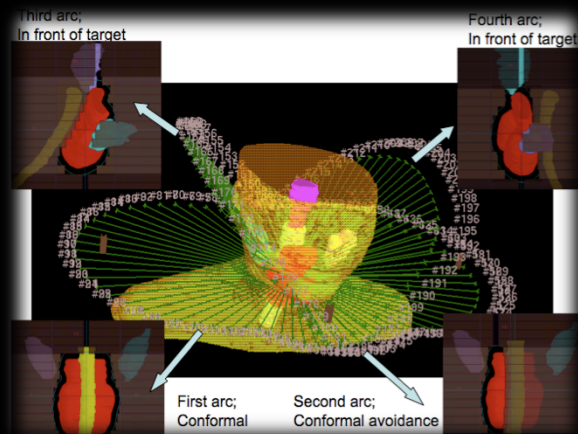


医学物理士の役割-臨床

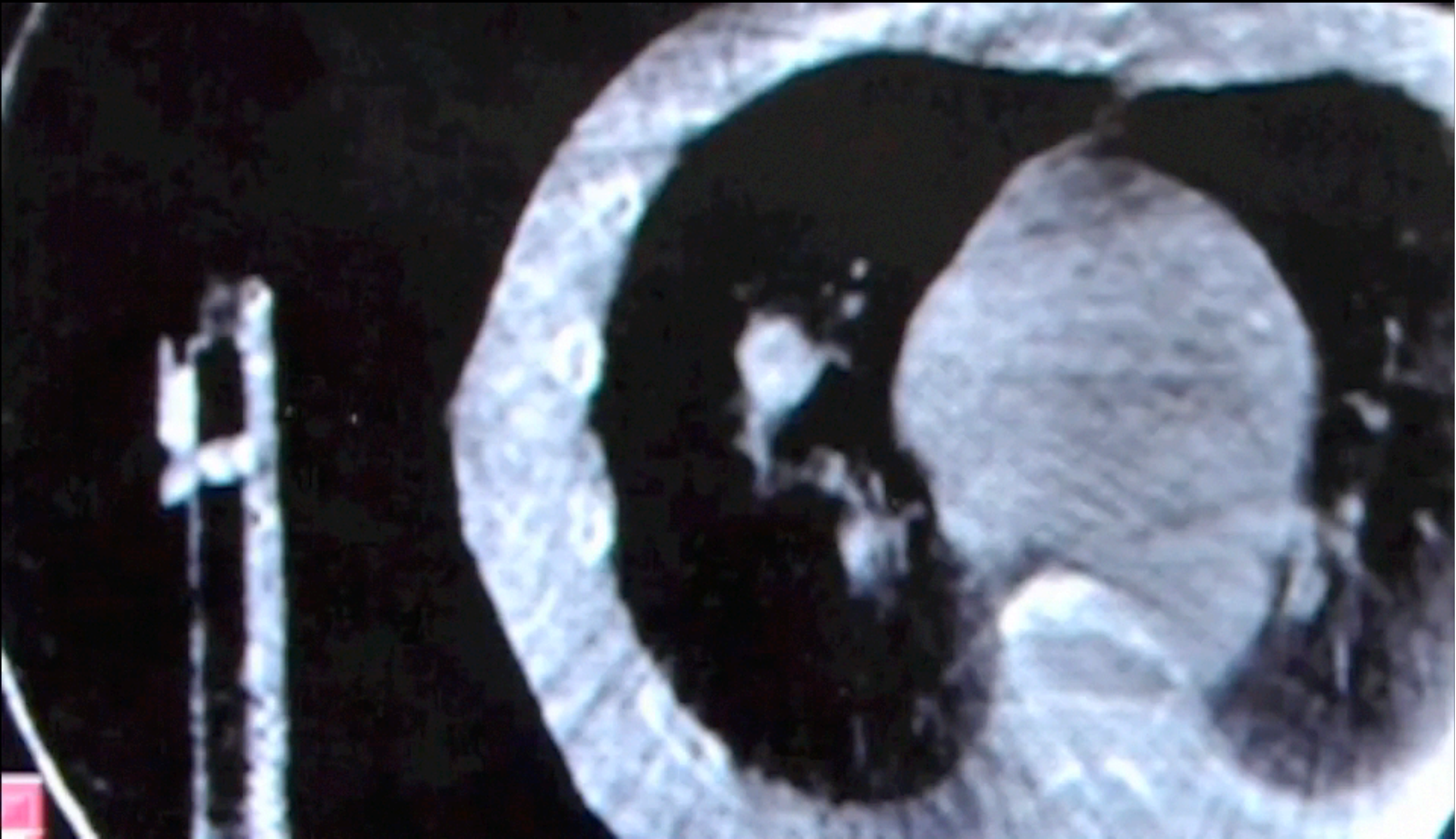
- 新規治療装置及び支援システムのコミッショニング
- 新規治療方法のコミッショニング
- 品質管理・品質保証
- 治療計画の立案と検証
- コンピュータ・ネットワーク管理



...



医学物理士の役割-研究



事前情報を利用した事後分布最大化 及びベイズ推定によるCT再構成

期待値 n_i^* 個の光子を観測する系で、
 n_i 個の光子を観測する確率を
Poisson分布で表現できると仮定

$$p(n_i) = \frac{(n_i^*)^{n_i}}{n_i!} e^{-n_i^*},$$

X-ray source

Object f

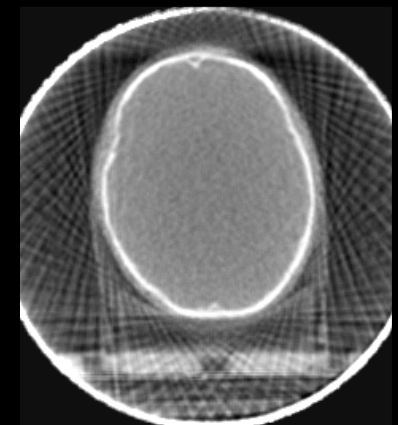
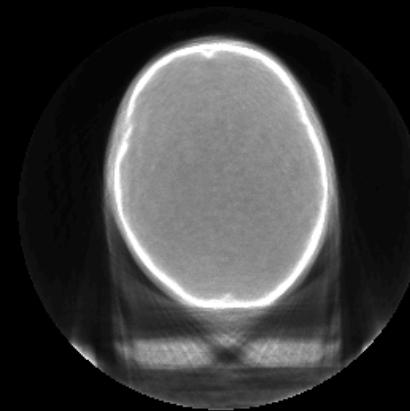
Detector i

少ない投影で再構成可能

被曝量を減少

(c) iteration =20

(d) FBP



CT被曝線量計算アルゴリズム

Modeled PDD

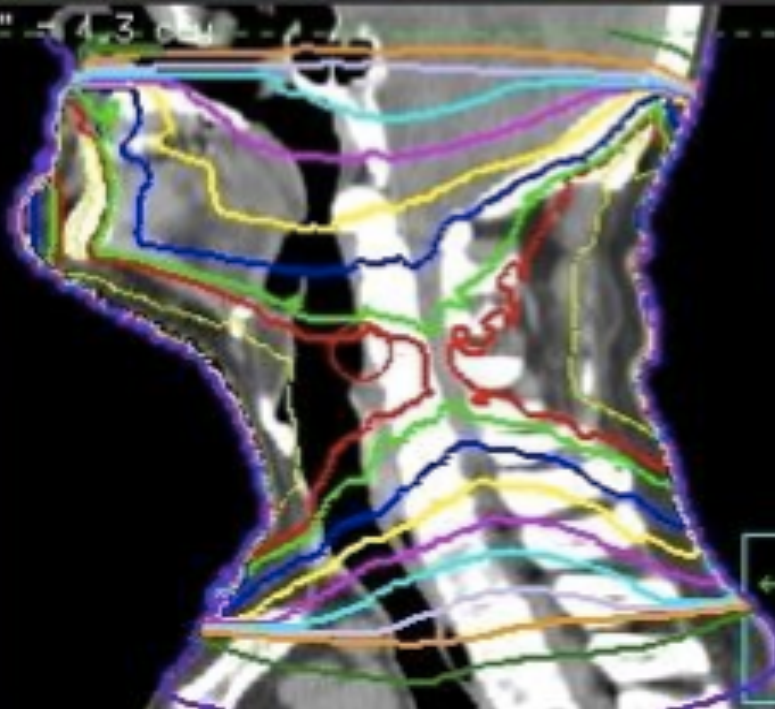
Modeled OCR Y3cm)

110

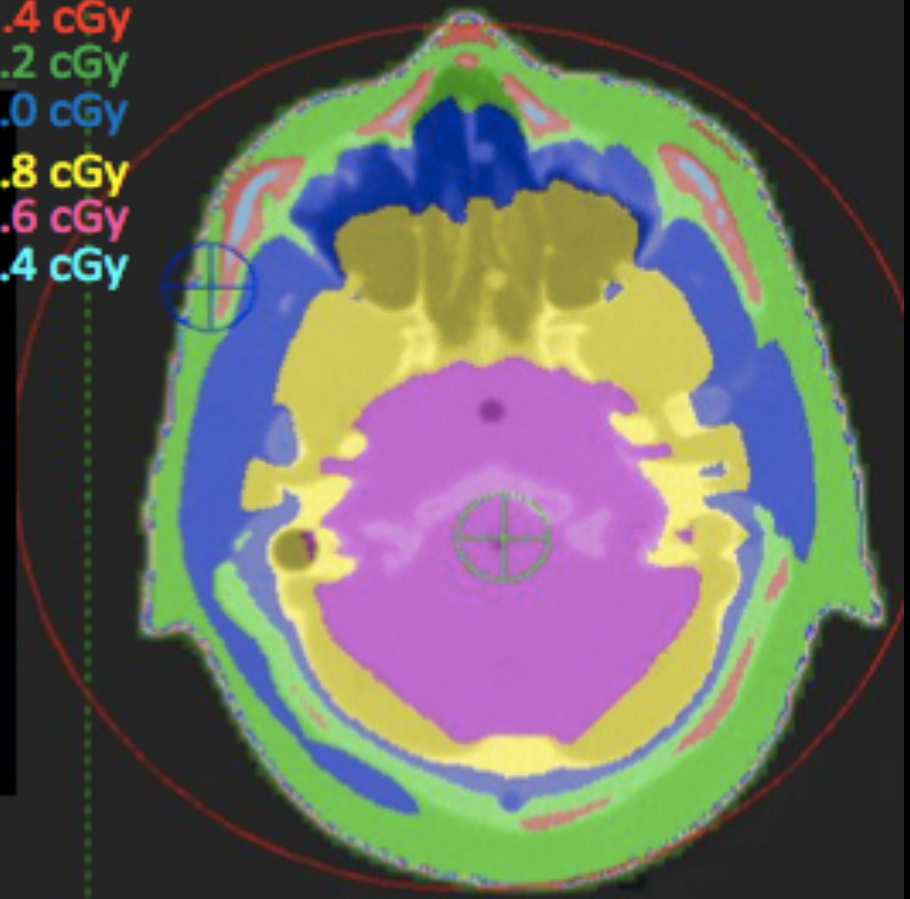
400

Pct POI. "IC" → 4.3 cGy

107.0 %
95.0 %
90.0 %
80.0 %
70.0 %
60.0 %
50.0 %
40.0 %
30.0 %
20.0 %
10.0 %



2.4 cGy
2.2 cGy
2.0 cGy
1.8 cGy
1.6 cGy
1.4 cGy



Origin of coordinate system and primary photon interaction site



医療ビッグデータ解析

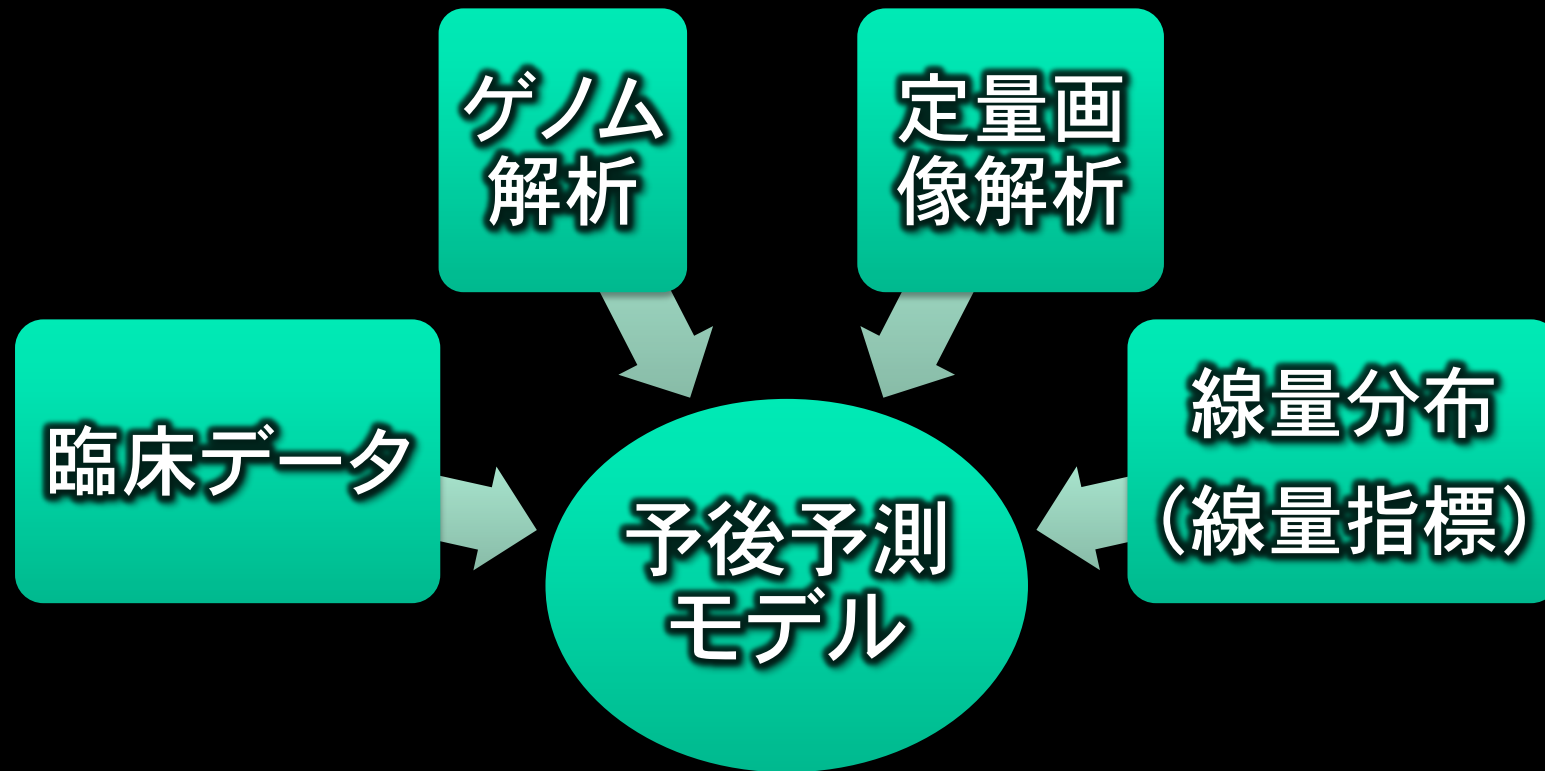
患者固有の背景を考慮した治療

過去の患者データを数理的に解析できないか...

オーダーメイド放射線治療の時代へ



がんと闘う武器は“数理物理学”



東京大学医学物理コース

「一人前の研究者を育成する」

少数のテーマをより
深く掘り下げるこ
とで、専門性を獲得
してもらいます

医学物理研究者としての成長

研究観点からの

臨床

「研究時間を第一に尊重」



研究テーマ

リニアック、ガンマナイフ、CT撮影装置などを利用した研究を実施します。

その内容は、

- CT再構成アルゴリズムの開発
 - 線量計算アルゴリズムの開発
(原子・原子核モデル計算含む)
 - 腫瘍発展の数理モデル
 - 画像誘導患者適応型放射線治療
 - パターン認識／機械学習
- など多岐に渡っています。



東大医学物理コース体制 (医学系研究科生体物理専攻)

2016年度体制

- ・ 医学物理専門教員2名
- ・ ポスドク1名
- ・ 博士課程学生2名
- + 届出研究員6名
- + 協力研究員3名(工学系研究科学生)



レポート課題

一般公衆に対する、医療による放射線被曝と原発事故による放射線被曝の相違を、科学的及び社会的な視点から論ぜよ(A4用紙1枚程度)。

