

平成29年度放射線医学オープンスクール
報告書
～最先端技術にふれる～

公益財団法人 医用原子力技術研究振興財団
医師のキャリアパスを考える医学生の会
課題解決型高度医療人材育成プログラム
放射線災害の全時相に対応できる人材養成

目 次

はじめに	1
I. 概要報告	3
II. スケジュール	5
III. オープンスクールガイド	7
IV. 講師からのメッセージ	15
V. 参加者の声	17
VI. 参加者の概要及び反応（アンケート）	25
VII. まとめ	31
<参考資料 1>開催実績	35
<参考資料 2>講義資料（1日目）	37
<参考資料 3>講義資料（2日目）	69
<参考資料 4>特別講演 資料	107
<参考資料 5>入手資料一覧	119
<参考資料 6>掲載メディア・記事抜粋	121
明日への人材を育てる企業一覧	123

はじめに

公益財団法人 医用原子力技術研究振興財団

放射線医学オープンスクールは、放射線を利用した診断・治療等の最新技術に関する講義および見学の機会を提供することで、その面白さ・素晴らしさに触れ、取り巻く情勢を含めて関心をもっていただくことを目的として医療系および理工系の学生を対象に毎年開催しています。また、本事業は、参加者が将来同分野を進路の選択肢とするだけでなく、よき理解者、支援者となることで、幅広い分野の人材交流および技術展開を促進することにつながり、放射線医学分野の裾野が広がることを期待しています。10回目となる本年は（公財）医用原子力技術研究振興財団主催、医師のキャリアパスを考える医学生の会および、筑波大学における文部科学省課題解決型高度医療人材育成プログラム「放射線災害の全時相に対応できる人材育成」共催で実施しました。

（公財）医用原子力技術研究振興財団は、粒子線等による先端のがん治療をはじめとする、各種放射線による疾病の治療および診断等に関する医用原子力技術を推進するとともに、その普及を図ることを目的として、講演会・講習会・セミナー・施設見学会等の開催、広告媒体・資料の作成・発行、情報収集・発信、関連施設整備促進・患者支援活動、および線量校正等、放射線治療施設の品質管理支援事業を行っております。

医師のキャリアパスを考える医学生の会は、「主体的な活動が出来る医学生をつくる」を理念とし、国内外 90 大学の医学生の有志で構成・運営され、大学横断的に会員数 1700 名を超える学生の自主的な組織です。大学では学ぶ事の出来ない医学全般を知り、視野を広げ、医師および医療を取り巻く課題と将来あるべき姿を考え、講演会、施設見学会等に関する活動を通じて学生自身がキャリアについて学び、考え、発展していこうというネットワークです。

文部科学省課題解決型高度医療人材育成プログラム「放射線災害の全時相に対応できる人材育成」とは、平成 28 年度に筑波大学医学群が採択された事業で、放射線災害発生時に、初期の緊急被ばく医療から復興期の継続的な放射線に対する健康管理までの各時相に応じて、習得した専門の知識・技術で活躍する人材育成を目的とした支援事業です。

このたび、本事業の成果報告として、参加した学生等が執筆した「平成 29 年度放射線医学オープンスクール報告書～最先端技術に触れる～」を冊子として発行いたしました。活動内容を、全国のより多くの学生、医療関係者および協賛組織等に知っていただき、本事業

業への理解を深めていただければ幸いです。医療の未来を築き、支えていく学生に対して、放射線医学が医療現場でいかに重要な役割を果たしているかを実際に目にし、肌で感じていただく貴重な機会を提供する本事業は、同分野に於ける優秀な人材の確保および医療全体の発展に大いに貢献するものと期待されます。「放射線医学オープンスクール」の開催および報告書の発行に際し、その趣旨をご理解賜り、ご協力ご協賛をいただいた関係各位に対し、心よりお礼を申し上げますとともに、今後ともさらなる発展のため、暖かいご支援を賜りますようお願い申し上げます。



筑波大学講義室にて

I. 概要報告

平成 29 年度放射線医学オープンスクール～概要～

奈良県立医科大学

医学部医学科 5 年

中川 洸平

8 月 29 日から 30 日にかけて、公益財団法人医用原子力技術研究振興財団と医師のキャリアパスを考える医学生の会の共催により「平成 29 年度放射線医学オープンスクール～最先端技術に触れる～」が開催されました。

本オープンスクールは、「放射線医学見学ツアー」として 2008 年に開催されて以来、今年で第 10 回目を迎えました。今年度は全体で 34 名の学生が参加しました。内訳は医療系の学生と工学系の学生がほぼ半分となっており、多種多様なバックグラウンドを持つ学生が参加されました。

今回は「株式会社日立製作所 ヘルスケアビジネスユニット 日立高精度放射線治療研修センター」、「筑波大学附属病院」、そして「筑波大学サイバニクス研究センター」の 3 施設をそれぞれ見学させていただきました。

1 日目は「株式会社日立製作所 ヘルスケアビジネスユニット 日立高精度放射線治療研修センター」に伺いました。X線治療と粒子線治療の基礎、重粒子線治療についての講義を拝聴しました。講義を通じて、粒子線治療の原理や応用について、詳しく理解することができました。また、放射線治療装置 TomoTherapy (Radixact シリーズ) 並びに放射線治療計画装置 (Precision/RayStation/Pinnacle3) を 2 班に分かれて見学させていただきました。見学を通じて実際の放射線治療がどのように行われているのか、具体的なイメージをつかむことができました。

1 日目の最後には特別講演として、National Taiwan University より来日された、Tony Hsiang-Kuang Liang 先生より、粒子線治療についての講義を交えつつ私たちのキャリアパスについてお話をいただきました。本特別講演は英語で行われましたが、学生にもわかりやすい英語で講演して下さいました。講演の後には懇親会が開かれ、参加された学生や先生方で親睦を深めることができました。

2 日目はまず「筑波大学附属病院」に伺いました。放射線の基礎知識や放射線の医学利用、放射線災害医療についての講義を拝聴し、陽子線治療施設を見学させていただきました。講義を通じて、放射線医学が医療現場に必要不可欠であることを確認しつつも、放射線の人体への影響や安全性の判断基準が必要であることを理解しました。施設見学では、非常に大きな陽子線装置を直に見ることができ、とても感動しました。その後、「筑波大学サイバニクス研究センター」へ移動し、2 日間の締めくくりとして、センター長の山海嘉之教授よりご

講演いただきました。講演ではサイバニクスとその社会への応用について紹介していただきました。

2日間に渡り開催された本オープンスクールを通じて放射線治療の原理や応用、並びに放射線全般の知識について理解を深めることができました。また医療系の学生、工学系の学生、そして放射線関係の方々がお互いに交流し、親睦を深めることができました。



日立高精度放射線治療研修センター治療装置見学

II. スケジュール

2017年8月29日(火)

Time	Schedule
11:45	集合 鍛冶橋駐車場
12:45~13:30	移動(バス) → 日立高精度放射線治療研修センター (バス内で昼食)

日立高精度放射線治療研修センター

Time	Schedule
13:30~13:45	開会挨拶
13:45~15:15	講義 「X線治療の基礎」 「粒子線治療の基礎」
15:30~16:40	見学 治療装置、治療計画装置
17:00~17:50	講義 「重粒子線がん治療の概要」
17:50~18:50	特別講演 ” Particle Therapy in Asia: Current and Future Developments” Hsiang-Kuang Tony Liang (梁祥光), B.S. (Physics), M.D. National Taiwan University
19:00~20:30	懇親会
21:45~23:30	移動(バス) → ホテル(つくば市内)

2017年8月30日(水)

Time	Schedule
9:00~ 9:15	ホテル(バス) → 筑波大学附属病院

筑波大学

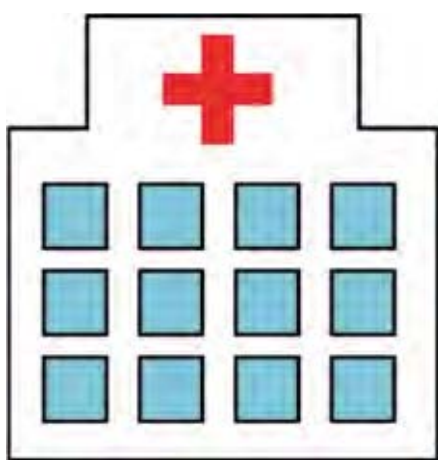
Time	Schedule
9:30~11:40	講義 「放射線について知ろう」 「放射線の医学利用」
11:50~12:20	見学 陽子線治療施設
12:20~13:20	昼食
13:20~15:30	講義 「放射線災害医療 —あなたならどうする? 放射線が突然環境に拡散したとき—」 「切らずに治すがん治療」
15:45~16:30	見学 ロボットスーツHAL
16:30~17:00	閉会挨拶
17:00	解散

Ⅲ. オープンスクールガイド

平成29年度 放射線医学オープンスクール

～最先端技術に触れる～

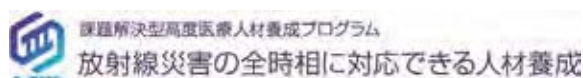
オープンスクールガイド



2017年8月29日(火)～30日(水)

公益財団法人 医用原子力技術研究振興財団

医師のキャリアパスを考える医学生の手帳



課題解決型高度医療人材養成プログラム

放射線災害の全時相に対応できる人材養成

はじめに

放射線医学オープンスクールとは

「放射線医学オープンスクール」は、普段なかなか接することの出来ない最先端技術である放射線医学の現場見学により、その面白さ、素晴らしさに触れる機会を大学生・院生等へ提供することで放射線医学分野への関心を高め、将来の発展を実感していただくことを目的として実施しております。

顧問 辻井博彦 公益財団法人 医用原子力技術研究振興財団 副理事長
土屋了介 地方独立行政法人 神奈川県立病院機構 理事長
小口正彦 公益財団法人がん研究会有明病院院長補佐 放射線治療部部長

(公財) 医用原子力技術研究振興財団

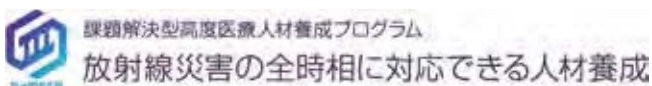
平成8年3月に粒子線等による先端のがん治療をはじめとする、各種放射線による疾病の治療ならびに診断等に関する医用原子力技術を推進するとともに、その普及を図ることを目的として、設立されました。

講演会・講習会・セミナー・施設見学会等の開催、広報媒体・資料の作成・発行、情報収集・発信、関連施設整備促進・患者支援活動、および線量校正等の放射線治療施設の品質管理支援事業を行っています。

医師のキャリアパスを考える医学生の会

会員数 : 国内外 90 大学、約 1,700 名

医学生有志による横断的な組織で、「主体的に活動できる医学生を作る」を理念に、大学では学べない医療を知り、視野を広げることを目標とし、医師・医療を取り巻く課題および将来のあるべき姿を考えることで、学生自身がキャリアについて学び、考え、発信していこうというネットワークです。



筑波大学は、文部科学省 課題解決型医療人材養成プログラムに、「放射線災害の全時相に対応できる人材養成 (H28 年度～H32 年度)」の事業名で採択されています。放射線災害には、災害発生直後の緊急被ばく医療から、復興期の継続的な放射線に対する健康管理まで、各災害時相に対応する人材が必要となります。本事業は、この分野を担う医療人を養成するため、「学類(部)教育、卒後生涯教育(履修証明制度)、大学院教育」の3つの柱で構成されています。

株式会社日立製作所 ヘルスケアビジネスユニット 日立高精度放射線治療研修センター



本社（上野イーストタワー）



日立高精度放射線治療研修センター

所在地

本社 〒110-0015 東京都台東区東上野 2-16-1（上野イーストタワー）

TEL：(03)6284-3745（代表）

日立高精度放射線治療研修センター 〒277-0804 千葉県柏市新十余二 2-1

TEL：(04)7135-0121（日立メディカルフォーラム柏）

URL <http://www.hitachi.co.jp/products/healthcare/index.html>



会社概要

毎日の暮らしに欠かせない電力や水、さらに交通など、これまで日立は、社会インフラを築く仕事を通じて便利で快適な社会づくりに取り組んできました。こうして長年にわたり培ってきたインフラ技術に先進の IT を組み合わせることで社会インフラをさらに高度化。「社会イノベーション事業」としてさまざまな課題の解決をめざしています。そしていま、日立はヘルスケアも 21 世紀の社会を支える重要な社会インフラと位置づけ、社会イノベーション事業の柱のひとつとしてヘルスケア事業を展開しています。日立の総合力と IT を掛け合わせることでヘルスケア分野において革新的な技術やシステム、ソリューション、サービスを提供。社会が直面する課題にイノベーションで応えます。誰もが安心・安全に暮らせる、笑顔あふれる社会のために。日立はヘルスケアイノベーションを生み出すために世界に向けて新たな挑戦を始めています。

研修内容

X線・粒子線治療装置の講義および放射線治療装置、放射線治療計画システムを見学して頂きます。実際に医療機関向けトレーニングに使用されている環境で実機に触れ、放射線治療を支えるメーカーの現場を幅広く見学して頂きます。



放射線治療装置 TomoTherapy
(Radixact シリーズ)



TomoTherapy 専用操作コンソール



放射線治療計画システム
(Precision/RayStation/Pinnacle³)

プログラム

1. 日立製作所 ヘルスケアビジネスユニットのご紹介
2. X線治療装置のご説明
3. 粒子線治療装置のご説明
4. 見学(放射線治療装置、放射線治療計画システム)

筑波大学附属病院



所在地

〒305-0005 茨城県つくば市 天久保2丁目1番地1

TEL : (029)853-3900

URL : <http://www.hosp.tsukuba.ac.jp/>



病院の概要

開院 1976年10月

診療科目 放射線腫瘍科、放射線科、循環器内科、呼吸内科、消化器内科、腎臓内科、血液内科、膠原病リウマチアレルギー内科、神経内科、内分泌代謝・糖尿病内科、呼吸器内科、遺伝外来、睡眠呼吸障害外来、保健衛生外来、心臓血管外科、消化器外科、腎泌尿器外科、脳神経外科、呼吸器外科、乳腺甲状腺内分泌外科、整形外科、形成外科、精神神経科、産婦人科、皮膚科、感染症科、耳鼻咽喉科、歯科口腔外科、麻酔科、救急・集中治療科、小児科、小児外科、眼科、総合診療科

届出・許可病床数 800床

筑波大学附属病院は、国立大学附属病院としてメディカルスタッフの生涯教育に積極的に取り組んでいます。医療のグローバル化をテーマに、2013年には附属病院国際連携推進室を立ち上げ、2014年には経済産業省のプロジェクトに採択され、海外への人材派遣や研修の受け入れ、海外からの患者さんの受け入れも積極的に行っています。臨床面においては、総合的ながん治療に力を入れて取り組んでいます。また、筑波大学の強みを活かし、体育学群との連携による「スポーツ医学・健康科学センター」、次世代分子イメージング研究センターのPET-CTを用いた「がん検診センター」の開設を予定しています。附属病院内の「未来医工融合研究センター」では、リハビリスタジオを整備し、筑波大学発リハビリロボット HAL を用いた臨床研究・治験などの医工連携に力を入れています。

筑波大学は、国内の大学病院として初の陽子線治療施設を有しています。これまで30年以上にわたり4,000例以上の患者さんの治療を行い、陽子線治療のパイオニアとして国内外の粒子線治療の潮流を生み出しました。現在では、陽子線治療の保険収載・適応拡大を目指して活動するとともに、次世代の粒子線治療として注目を集めている「中性子捕捉療法 (boron neutron capture therapy : BNCT)」の臨床研究に向けて加速器の開発を進めています。2015年には、これまでの「筑波大学附属病院臨床研究推進・支援センター」と医学医療系の「筑波大学次世代医療研究開発・教育統合 (CREIL) センター」を統合し、より強力な研究支援組織として筑波研究学園都市全体を見据えた「つくば臨床医学研究開発機構 (Tsukuba Clinical Research & Development Organization : T-CReDO)」を発足しました。以上のように、当院は大学病院として研究にも積極的に取り組み、高度な医療の提供を目指しています。

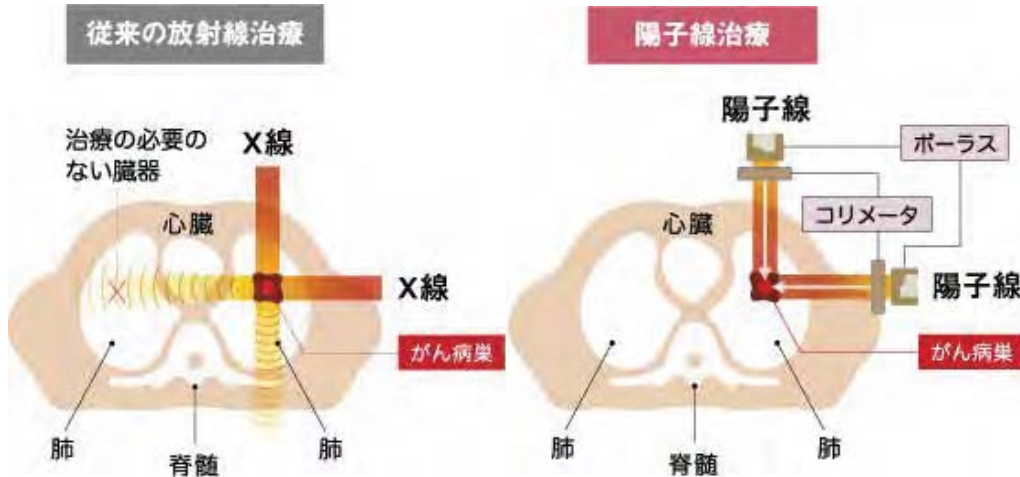
放射線腫瘍科の紹介

特徴

放射線療法 (放射線治療) は、手術療法や化学療法と並び、がんの三大療法として注目を集めています。放射線治療の最大の特徴は、侵襲性が低い治療法である点です。近年では、手術においても可能な限り身体への負担を考慮して腹腔鏡を利用するなどの工夫が施されるようになってきましたが、放射線治療では体の外側から体内の腫瘍を狙い撃ちできるため、身体への負担が手術に比べて極めて小さく、生活の質 (Quality of life : QOL) の維持・向上に寄与するがん治療法と言えます。

放射線治療は、X線治療と粒子線治療に大別されます。X線治療は、汎用型治療装置 (ライナック) の登場により広く普及した一般的な放射線治療です。X線は物質の透過力が極めて高く、1門照射 (1方向からの照射) の場合は腫瘍の周囲に存在する正常組織に高線量のX線が照射されてしまいます。そこで、X線の強度を

変えて多方向から照射し、腫瘍の周囲に存在する正常組織への照射を抑制するとともに、腫瘍には高線量を照射することが可能となります。これにより、放射線照射によって発生する恐れのある組織や臓器の障害を低減することができます。この治療法を強度変調放射線治療（Intensity modulated radiotherapy：IMRT）と呼び、当院では積極的に実施しています。一方、粒子線治療は新世代の放射線治療法であり、陽子線治療と重粒子線治療がこれにあたります。ここでは、当院における陽子線治療を紹介します。陽子線治療の最大の特徴は、一定の深さで“止まる”線量分布を形成できる点にあります。つまり、腫瘍の位置で陽子線を止めることができます。陽子線治療は、上述した従来の放射線治療に比べ、正常組織を守りながら腫瘍限局的に照射できる放射線治療法であると言えます。



筑波大学は、1983年から陽子線治療の臨床研究を開始し、これまでに長い歴史と多くの優れた実績を有しています。2017年3月までの治療実績から、肝臓がんの症例が多い点が当院の特徴として挙げられます。また、上述したように、陽子線治療はX線治療に比べて正常組織への照射（被ばく線量）を低減できるため、放射線による2次発がんや成長障害のリスク軽減など、多くのメリットを有しています。そのため、小児科と密接に連携を図り、小児がん治療にも積極的に取り組んでいます。



治療設備

<ライナック>

当院は、2台のX線治療装置（Clinac iX、Trilogy：いずれもVARIAN Medical Systems社製）を有しています。TrilogyにはExacTrac system (BrainLAB社製)が付設されており、IMRTをはじめとする定位放射線治療 (stereotactic radiation therapy：SRT) などの高精度放射線治療に対応しています。IMRTでは、頭頸部がん・前立腺がんの治療を積極的に実施し、前立腺がんのIMRTでは蓄尿した状態で実施することにより、高精度化を図っています。蓄尿量の測定には、3次元超音波装置（Bladder Scan：Diagnostic Ultrasound社製）を用いています。



(Clinac iX)



(Trilogy)



(Bladder scan)

<放射線治療計画 CT 装置>

放射線治療計画用 CT 装置は、X 線治療用（Aquilion LB：東芝メディカルシステムズ社製）と陽子線治療用（Optima CT580 W：GE Healthcare 社製）の 2 台を有しています。Aquilion LB が設置された室内には、透視装置（LX-40A：東芝メディカルシステムズ社製）が併設されており、放射線治療計画 CT 装置と 1 つの寝台を共有できるシステムとなっています。

<小線源治療>

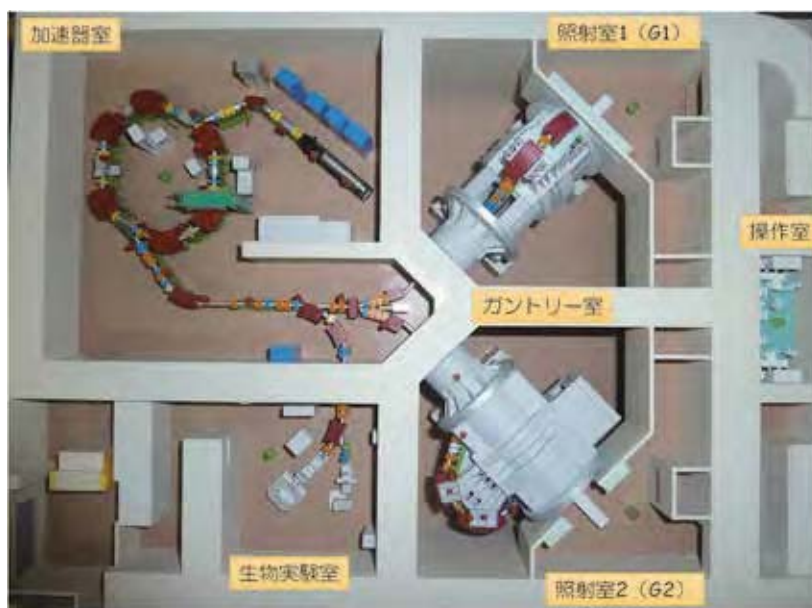
当院では、放射性同位元素を利用した小線源治療も実施しており、婦人科疾患を主な対象とし、腔内照射や組織内照射を実施しています。小線源治療装置には MicroSelectron（Nuclotron 社製）を使用し、室内には小線源治療計画用 CT 装置（BrightSpeed Excel：GE Healthcare 社製）が併設されています。

<温熱療法>

がん治療法の 1 つに温熱療法があります。当院では、温熱療法装置（Thermotron-RF8：山本ビニター社製）を使用し、放射線治療や化学療法と併用することで良好な治療成績をあげています。

<陽子線治療装置>

当院の陽子線治療装置は、Probeat II（HITACHI 社製）を用いています。陽子線治療装置は、「イオン源」「加速器」「照射野形成系」で構成されます。陽子はイオン源において水素原子核から電子を剥ぎ取ることにより生成され、前段加速器（線形加速器）で約 7MeV まで加速された後、シンクロトロンに入射されます。シンクロトロンでは、陽子エネルギーの増大に応じて磁束密度を徐々に増大させ、同時に高周波電場の周波数を増加させながら環状加速管内で陽子を多段階で加速していきます。陽子の加速は高周波加速空洞（1ヶ所）で行われ、1秒で円軌道を数十万回ほど周回することによりエネルギーが増大します（1周あたり 1.0kV）。ビームの軌道は偏光マグネット（赤茶部分）で制御され、直径約 7.0m の集束マグネット（黄色部分）でビームの広がりを抑えています。ビーム輸送ラインは 3 本あり、1 つは生物実験室、残りの 2 本が臨床で使用している照射室 1（G1）および照射室 2（G2）に輸送されます。照射室は回転ガントリー式の照射ポートとなっており、ガントリーの高さは 10m、重さ約 200t となっています。シンクロトロンから輸送されたビームは、このガントリーで 60° - 60° - 90° と偏光され、照射野形成系に入射され、患者さん毎の腫瘍の形状に合わせて照射されます。



研修内容

放射線に関する基礎的な内容からはじめ、放射線医学までの講義を受けていただきます。放射線の基礎では、サーベイメータなどの計測器を用いた放射線測定を体験していただきます。放射線の医学利用では、放射線治療だけでなく、放射線診断にも切り込んだ講義を行います。一連の放射線の基礎を学んだ上で、東日本大震災によって発生した福島原発事故で浮き彫りとなった放射線災害医療に関する講義を行い、放射線災害発生時の救急医療についても触れていきます。また、筑波大学附属病院の特色を活かし、陽子線治療に関する講義、さらには施設見学を通して陽子線治療に関する理解も深めていただければ幸いです。その他、筑波大学で開発されたロボットスーツ HAL の見学も用意しています。

講師紹介① 榮 武二



国立大学法人 筑波大学

医学医療系 医学物理学 教授

陽子線医学利用研究センター 医学物理グループ

附属病院 放射線治療品質管理室 室長

専門分野

医学物理学、放射線健康リスク科学、加速器工学

講師紹介② 磯辺智範



国立大学法人 筑波大学

医学医療系 放射線健康リスク科学 教授

陽子線医学利用研究センター 医学物理グループ

附属病院 放射線治療品質管理室 副室長

専門分野

放射線健康リスク科学、医学物理学

講師紹介③ 長谷川有史



公立大学法人 福島県立医科大学

医学部（臨床医学系）放射線災害医療学講座 主任教授

附属病院 放射線災害医療センター副センター長

専門分野

放射線災害医療学、救急医学、消化器外科学

講師紹介④ 櫻井英幸



国立大学法人 筑波大学

医学医療系 放射線腫瘍学 教授

附属病院 陽子線治療センター部長

附属病院 副病院長

専門分野

放射線腫瘍学、放射線生物学

Particle Therapy in Asia: Current and Future Developments

Radiation therapy (RT) is one of the important treatment modalities for cancer treatment. The mechanism of radiation to kill cancer cells comprises a physics reaction, a biological response, and clinical effects. One of the well-known mechanisms is that cancer cell death results from double strand DNA breakage induced by ionizing radiation.

From the physics perspective, the RT strategy to increase the tumor cell control and reduce normal tissue protection is to improve the conformity of radiation dose distribution in tumor. Through the progress in technology including computer science, imaging processing, and radiation physics, the rapid evolution is developing in radiation therapy field. From cobalt-60 to linear accelerator, fixed beam to rotational gantry, static block to dynamic multileaf collimator, and photo beam to particle beam, the improvement of RT technique significantly reduces the normal tissue side effects.

From the biology perspective, the relative biological effectiveness (RBE) is another factor to determine the tumor response to radiation. The strategy to increase RBE of radiation consists of increasing radiation dose per fraction or by using carbon ion and boron neutron capture therapy, which became feasible by the progress of RT techniques especially in Asia.

From the clinical perspective, to cure cancer patients requires both local and systemic tumor control, which means to prevent local tumor recurrence and distant metastasis. To achieve the goal takes combined-modalities treatment, including local treatment such as surgery, intervention, and RT as well as systemic treatment such as chemotherapy, targeted therapy, and immunotherapy.

In the era of personalized medical care for cancer patient care, the evolution direction of RT should combine the physics, biology, and clinical perspectives and coordinate with other treatment modalities to optimize the treatment for individual patients. A multidisciplinary collaboration allows the RT development to meet the requirement in this era. This means more transdisciplinary education, dialogues, brainstorming, and teamwork are essential for the RT evolution now and in the future.

講師紹介

Hsiang-Kuang Tony Liang (梁祥光)

Education

- 1994 B.S., Department of Physics, National Taiwan University (NTU)
- 2004 M.D., College of Medicine, NTU
- 2017~ Ph.D. Candidate, Biomedical Engineering Institute, NTU

Board Certifications

- 2008 Board of Neurology, Taiwan
- 2012 Board of Radiation Oncology, Taiwan

Current Appointments

- 2012~ Attending Physician, Division of Radiation Oncology, NTU Hospital
- 2013~ Planning Committee Member, NTU Radiation Science and Proton Therapy Center
- 2016~ Visiting Scientist, Proton Medical Research Center, University of Tsukuba, Japan



IV. 講師からのメッセージ

筑波大学 医学医療系

放射線健康リスク科学グループ

磯辺 智範

2017年8月29～30日の2日間、第10回放射線医学オープンスクールを開催させていただきました。初日は千葉県柏市にある「株式会社日立製作所 ヘルスケアビジネスユニット 日立高精度放射線治療研修センター」、2日目は「筑波大学」にてプログラムを実施しました。初日は、放射線治療に焦点を当て、基礎的な講義、治療計画装置 (RayStation) を使った実習、治療機器 (トモセラピー) の見学、野田耕司先生 (放射線医学総合研究所 所長) の加速器開発に関する講義、Tony 先生 (国立台湾大学) のアジアにおける粒子線治療の動向に関する特別講義を行いました。放射線治療分野では、患者数の増加による社会的注目度の高さから、高精度な治療を追求し、装置・技術が急速な勢いで進歩しています。1日目のプログラムを通して、そのことを実感していただけたのではないかと思います。2日目は、筑波大学の特徴を活かし、「陽子線治療とロボットスーツ HAL」を key word にしたプログラムを用意しました。筑波大学の陽子線治療装置は16年以上経過しており、多少歴史を感じたかもしれません (笑)。現在、筑波大学の櫻井英幸教授 (放射線腫瘍科) と榮武二教授 (医学物理学) が中心となり、装置更新に向けて準備を進めています。装置が更新された際には、是非とも見学にお越しください。ロボットスーツ HAL の開発者である筑波大学の山海嘉之教授 (サイバニクス研究センター長) には、未来から現在を見つめて課題を解決していくことの重要性や、グローバルな視点を持った研究の必要性をお話しいただきました。さらに、放射線災害医療に関するプログラムを用意しました。福島第一原発事故以降、放射線に関する基礎教育の必要性やリスクコミュニケーションの重要性が高まっています。筑波大学では、これらの教育にも力を入れており、平成28年に文部科学省の補助金事業である課題解決型高度医療人材養成プログラムにおいて、「放射線災害の全時相に対応できる人材養成」という取り組みが採択され、事業を進めています。詳細につきましては、ホームページ (<https://ramsep.md.tsukuba.ac.jp/>) をご参照ください。長谷川有史教授 (福島県立医科大学) の放射線災害医療をテーマとした講演では、福島原発事故発生時のご自身の対応、その時の失敗を含めた体験談、得られた教訓などをお話しいただき、医療人としてどうあるべきかを考える良い機会になったのではないかと思います。

この2日間、学生のみなさんの参加姿勢に私はとても感激しました。どのプログラムにも一生懸命に取り組み、講義終了後の質問はもちろん、昼休みやその日のプログラム終了後も残って講師の先生をつかまえて質問するなど、学生の皆さんの熱心さが伝わってきました。私自身も、大勢の学生さんと多くの話題に関して多方向から議論でき、とても刺激を受けました。この経験を、今後の教育と研究活動に活かしていきたいと考えています。今回の放射線医学オープンスクールの参加者は、医師を目指す学生と工学系の学生の割合

が半々で、技術系大学院生が数名でした。過去のオープンスクールは、その多くが医師を目指す学生でしたので、これまでとは異なる参加者の構成だったと感じました。2日間のプログラム、懇親会、宿泊施設での交流を通して、学生間で仲良くなったと思います。目指す将来像が違う人との交流は、今後の人生において極めて重要です。仕事を上手くやっていくには、自身の専門だけでなく他の分野のことも知り、その知識や技術を上手に利用することが必要だからです。さらに、今回の講師陣は、放射線腫瘍医、救急医、加速器工学者、医学物理士、診療放射線技師、原子核物理学者といった多くのバックグラウンドを持つ先生方です。自身の専門とは異なる分野の先生からの講義、そしてメッセージは、自身の刺激になったのではないのでしょうか？このプログラムを通じて、みなさんに伝えたかったメッセージは「多職種連携の重要性」です。人は、一人では何もできません。これを医療に置き換えると、自身の職種だけでは、効果的で、効率的で、そして何より患者の立場に立った最善の医療が提供できないのではないかと思います。本プログラムに参加したみなさんの、今後の活躍を期待しています。

最後になりますが、この会を運営していただいた公益財団法人 医用原子力技術研究振興財団 上野山直樹 事務局長と上村幸美さんに感謝いたします。ありがとうございました。



筑波大学 講義風景

V. 参加者の声

京都大学大学院

工学研究科 原子核工学専攻

医工融合・先端医学量子物理領域

博士後期課程 3年 伊良皆 拓

この度、平成 29 年度放射線医学オープンスクール～最先端技術に触れる～に参加させていただきました。今回は日立製作所と筑波大学医学部附属病院にて X 線・粒子線治療を幅広くかつメーカー側・ユーザー側両者の視点から学ぶことができました。このオープンスクールが開催されていることは数年前から知っていましたが、都合がつかなかったため今回が初めてで学生として最後の参加になります。私は工学研究科所属ではありますが京都大学医学部附属病院放射線治療科医学物理グループにも所属しており、呼吸性移動を伴う腫瘍の三次元位置検出・推定技術の開発研究を行っています。呼吸性移動を伴う腫瘍への治療は X 線のみならず粒子線治療においても一つの大きなテーマでもあるため、研究しているうえでの疑問を相談する良い機会になりました。

一日目は日立製作所にて X 線・粒子線治療の基礎の講義や治療計画装置 RayStation 及び放射線治療装置 TomoTherapy の見学、及び重粒子線治療の現状に関する講義が行われました。基礎の講義ではそれぞれの治療の特徴をとっても分かりやすく説明していただきました。治療計画装置・治療装置見学では実際に実機を扱う様子を見学でき、コンピュータによって放射線治療は支えられているということを感じました。重粒子線治療に関する講義では放医研における最新の研究成果も併せてご紹介いただきました。懇親会では参加者の学生・企業の方々と幅広くお話しすることができました。学部生の参加者が大半を占め、医学系・放射線技術系・理工系・薬学系と所属は幅広く、各々が熱意をもってこのオープンスクールに参加していると感じました。

二日目は筑波大学病院にて環境放射線や放射線の具体的な医学利用を学びました。講義会場では放射線を検出するとライトが光る装置が設置され常に光っており、我々は常に放射線にさらされていることを実感しました。また実際の粒子線治療装置のシンクロトロン部や照射室、ガントリ部を見学しました。これらは X 線治療装置と比較して大きな装置であり、普及のためにはさらなる装置の小型化が必要だと感じました。最も印象に残った講義は、長谷川先生による放射線災害医療に関するものです。福島原発事故の際、汚染の可能性のある患者をどのように治療するか、経験のない事態にどのように対処したか、実体験を基に伝えていただきました。検出器のカウント値がどの程度人体に影響があるのか分からず混乱したため理工系知識を実際の臨床現場に変換できる人材になってほしい、という言葉が心に響きました。また二日目の最後はロボットスーツ HAL の講義および見学をしました。開発者である山海先生による講義は非常に分かりやすく、また常に先を見て研究を行って

おり、研究者としてあるべき姿を見ました。

今回のオープンスクールではX線治療や粒子線治療についての知識を体系的に整理でき、かつ今後の研究課題を知ることができました。私は医学物理研究を続けていきたいと考えているため、今回得られた知見を今後に生かせるよう邁進したいと思います。また今回知り合った学生の方々と今後放射線治療の現場や学会などでお会いできることを楽しみにしております。

最後になりますが、日立製作所・筑波大学病院の皆様、オープンスクールを企画していただいた医師のキャリアパスを考える医学生の会、公益財団法人医用原子力技術研究財団の皆様がこの場をお借りして心より厚く御礼申し上げます。



日立高精度放射線治療研修センター 治療計画装置見学

高知大学

医学部 医学科 3年

弓場 健太郎

放射線医学オープンスクールに昨年度に続き今回も参加させていただきました。私は放射線科医に興味があり、昨年は友人から紹介され参加しました。楽しく充実した二日間であったので、ぜひ今年も様々なことを学んでみたいと思い、参加を決めました。

まず、初日には日立製作所でX線や粒子線治療についての説明をしていただきました。特に印象に残ったのが、放射線の密度を方向によって変えることで大きな病巣でも正常組織を避けて照射できる、IMRTの技術についてです。放射線治療といえば、正常組織も傷ついてしまうという副作用をイメージしてしまいがちですが、この照射法によりそのリスクを低減できます。講義の後の施設見学では、治療装置(Tomo Therapy)を間近で見、実際の装置の大きさなどを体感できたので、とても貴重な体験となりました。

また、初日最後の特別講演ではTony Liang先生に台湾の現状を中心に説明していただきました。英語での講義は少し戸惑いましたが、先生が丁寧に説明してくださったので、なんとか理解することができました。さらに、3年後、5年後の将来を考える大切さも説いていただき、ハッとさせられる講義でした。

懇親会では特に他の大学、学部の方々と交流することができたことがとても良い経験になりました。普段の生活では他の分野を学んでいる人達と話す機会がほとんどないので、今まで知らなかったことも聞くことができ、とても有意義な時間を過ごすことができました。

2日目には、筑波大学で各先生により、放射線の基礎から始まり、災害医療やがん治療について説明をしていただきました。あいまいな知識でしかなかった部分も、先生方のわかりやすい講義のおかげで理解が深まりました。印象に残ったのは、長谷川先生による放射線災害医療についての話です。被爆者に対する病院での対応など、知らなかったことばかりでした。東日本大震災による原発事故の影響が残るなか、この問題は決して他人ごとではないので、いかに行動すべきかを知っているのと知らないのとでは、緊急時の対応は雲泥の差になることを改めて感じることができました。この機会に知ることができて本当に良かったと思います。

また、最後には山海先生より、ロボットスーツHALの原理や効果について説明をしていただきました。ニュースで聞いたことがある程度だったので、初めて知ることばかりで、ただただ圧倒されていました。特にHALの使用によって、歩行機能を補助する効果だけでなく、「歩行した」という感覚を脳にフィードバックさせることにより、脳に「歩行」を学習させる効果があることが印象に残りました。HALの実物を見るのも初めてだったので、とても興味深かったです。

最後に、放射線医学オープンスクールを企画、運営してくださった皆様に感謝申し上げます。

国際医療福祉大学

保健医療学部

放射線・情報科学科 4年

菅 満喜人

平成 29 年 8 月 29 日～30 日の 2 日間、「放射線医学オープンスクール～最先端技術に触れる～」に参加させていただきました。今回私は、様々な分野の方々との出会いを通して新しい視点と考え方を得るとともに、放射線医学を幅広い視点より捉えられるようになりたいと思います、今回の参加を決めました。

1 日目は、株式会社日立製作所ヘルスケアビジネスユニット 日立高精度放射線治療研修センターにおいて、粒子線を中心とした放射線治療に関する講義と放射線治療計画システム、及び TomoTherapy の見学をさせていただきました。粒子線治療の歩みに関する講演では、これまでの粒子線治療の歴史とともに、現在開発が進められている量子メスに関する概要を説明していただきました。以前、放射線医学総合研究所を見学させていただいたこともあり、よりイメージを膨らませながら講演を拝聴することができました。その中で印象的であったのが、切除不能膵臓がんに対する抗がん剤を併用した炭素線治療の成績の改善と、第 5 世代量子メスの開発です。重粒子線治療の可能性と同時に、高い性能と大幅な小型化による新しい放射線治療の未来を垣間見ることができ、自分自身とても刺激を受けました。将来、小型機の普及とともに日本の放射線治療のあり方が変化した時、自分は診療放射線技師や医学物理士、そして放射線医学に携わる一人の医療人として何ができるのかと強く自身に問いかける良い経験となりました。見学では、放射線治療計画システムにおける照射条件の最適化にかかる時間の短さや、TomoTherapy を用いた全脳照射における海馬抜きの技術に、非常に驚いたことを覚えています。見学を通し、診療放射線技師として放射線医学に携わることにイメージを膨らませることができたと同時に、医学物理的な観点からより患者さんのことを考えた放射線治療を提供できる医療人としてありたいと思いました。特別講演のアジアにおける粒子線治療の事情について講演では、アジアに目を向けた粒子線治療の学びとともに、様々な技術を集結させたがん治療のあり方を考える貴重な機会となりました。

2 日目は筑波大学附属病院において、筑波大学の先生方による講義と陽子線治療施設の見学をさせていただきました。講義では放射線と医学、がん治療について分かりやすく教えていただき、また自分自身に問いかけるような内容のものもありました。放射線災害医療に関する講義では東日本大震災を例に、放射線を取り扱う診療放射線技師を目指す者として、自分は現場にいたとき何ができるのか、この経験からどうするべきなのかと自身に問うことで、臨床だけでなく様々な状況において専門性を発揮できる診療放射線技師にな

りたいと思いました。施設見学においては、実際に臨床現場で使用されている装置を普段は見ることのできない内部まで見学することができました。最後に同大学サイバニクス研究センターでロボットスーツ HAL を見学しました。この中で、「自分の思い描く未来から、現在を見つめ考える。この未来から見える課題が、いま解決



筑波大学附属病院 陽子線治療センター 治療室見学

すべき課題である。」という言葉がとても印象的でした。患者さんやその家族を中心とした医療においても、未来を自分たちの手で創り出す姿勢や視点が必要なのではないかと、考える良い機会となりました。プログラム終了後には筑波大学附属病院のご厚意により、放射線治療部門を見学させていただきました。普段見ることのできない装置なども丁寧に説明してくださり、臨床の現場を学ぶよい機会となりました。

今回のオープンスクールでは、医療系だけでなく、理工学系など様々な分野で学んでいる方々が参加しており、医療は様々な分野との協働により常に発展しているものである事を再認識した次第です。参加者の方々との交流は、これからの日本の放射線医学の将来をともに考える貴重な時間となりました。同じ医学物理士を志している学部生の方や、資格を取得された院生の方々といつか一緒に現場でともに働きたいと思い、私も、微力でも日本の放射線医学の一端を担っていけるよう、日頃より努力を重ねていきたいと決意を新たにしました。

最後になりますが、今回の研修プログラムへの参加の機会を与えてくださった公益財団法人 医用原子力技術研究振興財団、医師のキャリアパスを考える医学生の会の皆様、株式会社日立製作所 ヘルスケアビジネスユニット及び筑波大学附属病院の皆様、また短い間でしたが一緒に過ごした参加者の皆様に心より御礼申し上げます。本当にありがとうございました。

東北大学大学院

工学研究科

機械・知能系 量子エネルギー工学専攻

修士1年 長尾 理那

この度私は、医師のキャリアパスを考える医学生のおよび公益財団法人医用原子力技術研究振興財団が主催する「平成29年度放射線医学オープンスクール～最先端技術に触れる～」に参加させていただきました。現在、私は粒子線治療についての研究をしており、放射線医学オープンスクールは、深く放射線医療について学び、最先端の医療技術に触れることができる貴重な機会であると考え、参加を決めました。

1日目は株式会社日立製作所ヘルスケアビジネスユニットの日立高精度放射線治療研修センターを見学させていただきました。実際に治療に使われている放射線治療機器を目にすることが初めてでしたが、X線の治療装置「Tomo Therapy」は私が想像していた治療器より非常にコンパクトで驚きました。また、放射線治療計画システムを見ることも初めてで、放射線感受性の高い臓器に多くの線量を与えないように患者一人一人に合った線量分布が作られているのだと知りました。医療機器メーカーでは、患者の負担を考えることはもちろんのこと、装置を動かす医師や技師の方々のことも考えながら新しい技術を取り入れていき、より良い素晴らしい機器を開発していることを改めて感じました。

2日目は筑波大学附属病院を見学させていただきました。放射線治療機器の他にも、シンクロトロン加速器、温熱治療用機器やロボットスーツ HAL も見学させていただきました。さらに、ご講演では、栄武二先生からは放射線の可視化、磯部智範先生からは診断装置や医学物理士、長谷川有史先生はから東日本大震災の当時の被ばく医療、櫻井英幸先生からは様々な放射線治療についてと、幅広い分野の貴重な話を聞き、とても勉強になりました。



日立高精度放射線治療研修センター 講義風景

放射線治療の良い部分をこのオープンスクールで学

びました。私は、放射線治療というものがもっとがん療法の選択肢の一つとしてもっと広がってほしいと思っています。しかし、現在、東日本大震災での原発事故の影響もあり、「放射線」について悪いイメージだけを持っている人がいると考えられます。そのような人たちが、放射線という名前があるだけでがん治療の選択肢を減らすことは非常に残念なことです。私たち放射線について学んでいる人間は、そのような人に正しい情報を伝え、誤解を少しでも取り除くという役割を持っているのではないかと感じました。そのためにも、今は、勉強し、正しい知識得ることが大切だと思いました。本当に有意義な時間を過ごすことができました。

最後に、放射線医学オープンスクールでは、多くの方々とお話をさせていただいたり、さらに放射線治療の環境や技術を実際に見学したり、本当に貴重な経験をさせていただきました。自分の企画、運営して下さった公益財団法人医用原子力技術研究振興財団および医師のキャリアパスを考える医学生の会の皆様、ご対応して下さった日立製作所ヘルスケアビジネスユニットおよび筑波大学附属病院の皆様から感謝申し上げます。

東北大学大学院

工学研究科

量子エネルギー工学専攻

修士2年 梶山 愛

このセミナーで1番感じたことは、「現場を見ること」の重要性です。私は普段、大学院で陽子線治療計画用の3Dポリマーゲル線量計を研究開発しています。その中では、線量計としての質つまりどれだけ精確に、素早く線量を計測してくれるかにこだわりを置いて研究を行っております。それは、患者さんのQOLを最大限に考慮した良質な治療をするための大前提の考えであり、これを無しに研究開発はしないと思いますが、私には今まで明らかに欠如していたものがあると、今回気づいたのです。それが、先ほどの「現場を見ること」です。粒子線治療やその治療計画は実際、いつ、どこで、どのような環境でどのような患者さんを対象に行われているのか。それを文献上でしか私は把握してなく、実際に病院に出向いてそこで使われているものや雰囲気を体感したことがありませんでした。今回初めて、普段使用されている治療装置や治療環境を目の当たりのして、気づくことは沢山ありました。粒子線治療の患者さんは予想以上に多く、2台の治療台を効率よく使用しているため、患者さん1人あたりに割ける時間も多くないこと、粒子線治療装置においても、医療技術や患者さんの先々を見据えながら、日立製作所ヘルスケアの方々と装置などの改良を続けていること。その時に「本当に」必要な医療技術というのは、実際にその医療技術に関わる患者さんや医療従事者がいる場所でないと見えてこないということを強く感じました。これからは、エンジニア学生として技術の質を大事にしながらも、その質とは「医療現場にいる患者さんや医療従事者の方々にとって」良質なものでなければいけないということを念頭に置いて、研究活動を続けていきたいと思っております。

最後に、今回オープンスクールを開催してくださった医用原子力技術研究振興財団の方々、医師のキャリアパスを考える医学生の会の方々、日立製作所ヘルスケアビジネスユニットの方々、筑波大学附属病院の方々、そして参加者の皆様、私の拙い質問などにご丁寧に対応していただき、誠にありがとうございました。心から御礼申し上げます。

VI. 参加者の概要及び反応（アンケート）

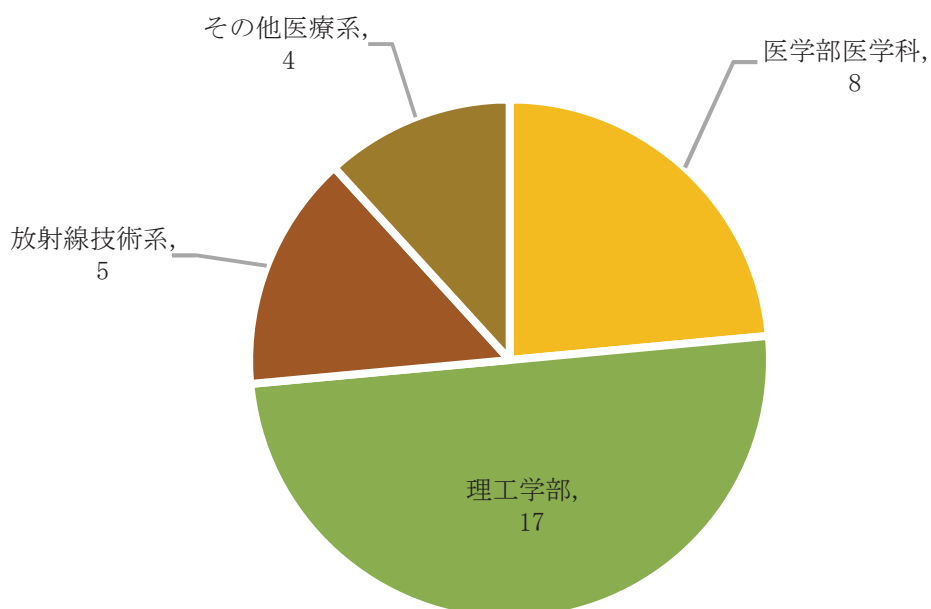
【回答者属性】

参加者数 34 名

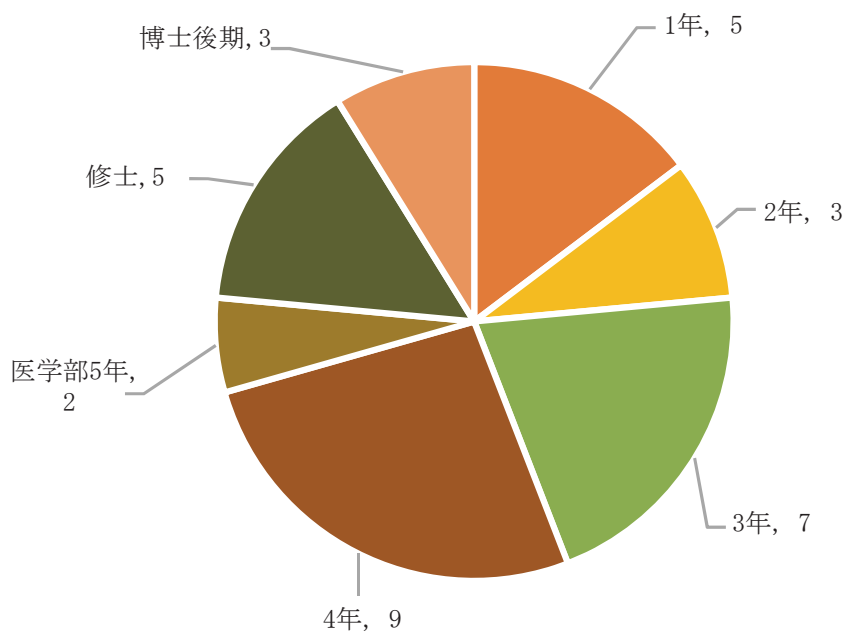
参加大学 21 校（五十音順）

朝日大学、大阪大学、京都大学、近畿大学、高知大学、神戸大学、国際医療福祉大学、駒澤大学、順天堂大学、筑波大学、東京大学、東京都市大学、東京理科大学、東北大学、東洋大学、長岡技術科学大学、名古屋大学、奈良県立医科大学、新潟大学、藤田保健衛生大学、琉球大学

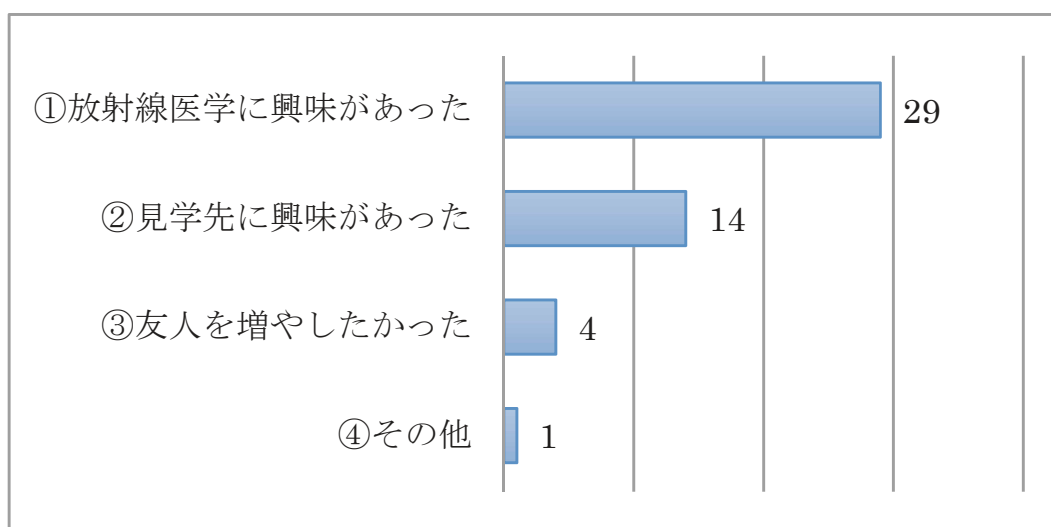
学部・学科



学年



1. 参加動機 (複数回答可)



2. 今回のオープンスクールを通じて放射線医学に対するイメージの変化【抜粋】

- ・漠然としたイメージしかなく、実際には陽子線治療や粒子線治療など、どのような設備が必要かなどしらなかった。また副作用なども気になっていた。 → がんの腫瘍をピンポイントに陽子線で照射することができるということ、温存したい臓器の線量を減らすことが可能であることを知り、放射線治療に対して理解が深まった。
- ・複雑で難しいというイメージ → X線、粒子線治療のちがいやそれぞれのメリット・デメリットを理解できたことで放射線治療をより身近に感じる事ができた。
- ・危ない、他の臓器に当たりそう。 → 安全、当たらないようになっていて安心。
- ・がんの診断・治療を行うことができる一方で、被ばくによる健康被害が常にあるという不安がありました。 → 近年注目されている陽子線や重粒子線治療の研究のスピードが自分が思っていたものより速く、かつ正確なものになっていることを知り、がん治療のイメージがより安全で確実なものに変わりました。
- ・最先端の医療技術で副作用の激しい患者に対して負担の大きい治療法だと思っていた(正常組織への被ばくが大きいと思っていた)。 → 様々な技術の組み合わせにより、想像以上にピンポイントに照射できることに驚いた。
- ・特に放射線治療では大きなエネルギーのX線がや粒子線を用いるため、それらの物理・工学的知識を持つ医学物理士が大きな役割を持つ。 → 自分が思った以上に放射線医学には物理工学の知識が必要だと感じた。
- ・PET、X線、粒子線による手術では難しい箇所の治療法 → QOLを維持できる手法。
- ・事前の計画を重要視する必要があるというイメージになりました。また、放射線を用いた医療しか考えていなかったが、放射線防護(リスク)の視点があること。必要不可欠であるという認識になりました。

- ・放射線治療は工学系の方々の協力をとても受けて成り立っているものと感じた。
- ・放射線治療は発展を続けており、より患者さんの負担を軽減しつつ適応疾患や治療成績を向上していくものだと確信しました。
- ・放射線にはX線しか使われていないイメージがありましたが、粒子線や重粒子線の話聞いて自分の知らない領域だったのですごく興味がわきました。
- ・今まで医学の視点でしか放射線医学をみていなかったのが、今回物理学の視点でみれたり、機器をつくっている企業の方からお話を伺うことができたので、視野が広がりました。

3. 日立製作所（講義・見学）の感想【抜粋】

- ・実際に治療計画を立てる方法を学び、最新技術はここまでシミュレーションできるのかということに驚いた。また Tomo-therapy を実際に見る機会はあまりないため、精度の良さなどに感動し、また実際に患者さんに使用する際の様子が容易に想像できた。
- ・X線、粒子線治療について基本的な知識についての講義だけでなく、機器の原理や実際に臨床の場でどのように治療計画を立てるのか、など、工学面、医学面の両方から学ぶ事ができ、放射線治療の全体像を理解することができた。
- ・日立製作所で提供している装置の説明を聞くことで、最新の治療機器を支える様々な技術を知ることができ、自分の研究の相違点を感じ、研究活動のモチベーション向上につながりました。
- ・今まで何度も授業で教えられた内容だったが、今まで受けたどんな授業よりもわかりやすかった。
- ・Tomo Therapy に用いられている Binary BMC の技術説明では大学では決して知ることのできない最先端技術を知る事が出来て良かった。医学における情報分野の重要性を認識することができた。
- ・実際に今まで放射線治療の装置を見たことがなかったので、今回実際に見て、装置の事について知れて、改めて日本の技術力の高さを知ることができました。
- ・放射線の基礎から IMRT の仕組みまで、企業の方から詳しく教えていただける機会はなかなかないので、参加することができ、とても良かったです。
- ・工学的な視点から学べてとても身になりました。

4. 筑波大学（講義・見学）の感想【抜粋】

- ・子どもの患者さんがリラックスして治療が受けられるようにスヌーピーの壁紙になっていたり、いたるところに工夫がなされているなという印象を受けた。
- ・臨床で使う陽子線装置を実際に見れ、回転ガントリーが動いているところを見れたのが感動でした。
- ・ガントリーの裏の部分まで見せていただき、貴重な体験ができた。

- ・陽子線治療装置の実際を見ることができ、よかったと思う。想像以上のコンパクトさにはおどろいた。
- ・「医学物理士」という資格について詳しく聞けて良かったです。
- ・現在使われている実機を見ることができ、改めてメンテナンスによる障害を減らす工夫が現場で必要になることを感じた。
- ・陽子線の小児がんの有用性はとても魅力を感じました。
- ・原発事故の際になぜ混乱が起きたのか、医療関係者は放射線の専門家からどのような情報を期待しているか知ることができた。
- ・実際に医療現場で働いているお医者さんの話をたくさん聞けたので臨床的な話も聞け、身近に感じました。

5. サイバニクスセンター（山海先生講義・ロボットスーツ HAL の見学）の感想【抜粋】

- ・最先端の研究を行っている山海先生のお話を聞く機会などめったにないことなので驚くことの連続で、また研究者としてあんなに遠くの未来まで本格的に具体的に考えられているのはやはり違うなあと感じました。未来から見て創造する。困難にぶつかった際しなやかに対応する。またどんどん興味のある分野に飛びこんで視野を広げることの重要性を学びました。
- ・やみくもに改善・開発するのではなく、未来をみすえて、どのような未来にしたいのかを考えた上で、その未来へたどりつく方法を考える、という考え方にとても共感しました。
- ・介護ロボットというイメージで話を聞いていたので、ただサポートするだけでなく今後、意識的に手足を動かせるようになることは本当にびっくりした。
- ・複数分野の専門家になるということが医工連携の実現にもつながっていくのではないかと思います。
- ・脳が疾患などで損傷していても HAL から神経経路に介入できるという点について驚いた。また、山海先生のように時代の先端を走っている人は自由な発想を持って研究・開発に取り組んでいると感じた。
- ・HAL が医療分野において介護だけでなく、身体機能の改善にも使われていることを知り、驚きました。

6. 特別講演(Tony Liang 先生)の感想【抜粋】

- ・英語での講演であったが、聞いていて非常に分かりやすく、ユーモアもあったため非常に楽しめた。
- ・自分の英語力のなさをつきつけられました。
- ・英語での発表をきく機会が今まであまりなかったため、刺激を受けました。専門知識を深めるだけでなく英語力をつけ、英語発表の内容をしっかりと理解できるようになりたいと思いました。

- ・台湾の放射線医療技術の現状について知ることができた。アジアの今後の展望も知ることができて良かった。
- ・日本、台湾共に得意な分野があり、それぞれがコラボレーションしていくことが今後の互いのために重要だということを知った。
- ・「放射線治療や化学療法、手術療法すべてを臨機応変に組み合わせることで、それぞれ単独のベネフィットよりも大きいベネフィットを生み出す」ということがとても印象的だった。
- ・今回の講義を聞いて“コラボレーション”の大切さを知った。1つ1つのもの単独より組み合わせることで更なる向上が生まれることを知り今後研究を行うにあたって1つ1つのことでなくそれぞれを組みあわせて考えることを目指したい。
- ・医学・工学など様々な分野におけるコラボレーションが大事であるということが腑におちた。
- ・海外のDr.の話から日本の医療を見れるのはなかなか無いので今後も続けてほしい。

7. 懇親会の感想【抜粋】

- ・他大の違う専門の学生とも多く話すことができ、異なる視点からの話を聞くことができた。これからも連絡をとり合えるほど仲良くなれた。
- ・先生方とも話すことができ、自分の知識が高まった気がしました。
- ・参加学生のみならず企業の方々ともお話しできとても刺激的だった。
- ・さまざまなバックグラウンド、研究、勉強している内容を聞き、自分も話して情報交換し、知見を広げることができた。
- ・医学物理士を目指している方も多く、自分以外の人の専門的な知識を聞くのはとても楽しかったです。

8. オープンスクール全体を通しての感想【抜粋】

- ・基礎的なことから最先端のことまで講義や見学を通して学ぶことができました。工学系の方や薬学系の方の話をきくことができ、着目点に感心するとともに、様々な分野で協力し合って技術を発展させていく必要性を感じました。
- ・機器から放射線の知識、医療応用について幅広く学べたのがよかった。
- ・放射線の医学応用について幅広く学ぶことが出来た。特に粒子線治療について企業・大学病院側からそれぞれの意見を知ることが出来た。
- ・様々な先生方のおもしろい講義を受けることができて、また、普段みられない装置を見せてもらえて感動でした。
- ・多職種の方と話をできたこと、Engineer の視点からも放射線を知ることができたこと、陽子線治療施設、HAL を実際に見ることができたことがよかったです。
- ・学部で学ぶこととは少し異なる勉強をすることができて良かった。放射線について専門の

先生方からお話し、講義を受けることができ、とても勉強になったので、今後の大学での勉強や研究に大いに役立てたい。

- 専門的な知識だけでなく、現状の問題点と既存治療法との差をわかりやすく説明していただき、非常に役に立ちました。なかでも、学生どうしでの交流の時間があって、研究活動に関して非常に刺激的な経験を得ることができました。
- 改めて、放射線を用いた治療は、一歩間違えればとても危険であることを学ぶことができました。それでも多くの方が安全に、負担を少なくするために、医師、技師、開発者がそれぞれ工夫しているということを知ることは、とても素晴らしい経験であった。
- ガントリーが回っているところは迫力があつた。
- 移動費と宿泊費を考えると 3,000 円は破格的で魅力的。



筑波大学附属病院 陽子線医学利用研究センター シンクロトロン見学

VII. まとめ

奈良県立医科大学

医学部医学科 5年

中川 洸平

現在、日本の死因別死亡率の第一位を占めている疾患は悪性新生物（がん）であります。2人に1人ががんを発症し、3人に1人ががんで亡くなるといわれる現代において、如何にがん患者の生活の質を維持しつつ治療を行っていくかは重要な課題と言えるでしょう。

侵襲度の低い放射線治療は、上記の課題を達成するために必要不可欠であり、その進歩は著しく、最近では粒子線治療も注目を浴びています。一方で放射線治療に必要な各種装置の扱い方、治療計画ソフトの扱いはとても難しく、医師のみの力では到底使いこなすことができなくなっているとも感じます。

今回のオープンスクールでは、放射線医学の基礎や応用、変遷について学び、粒子線治療の魅力について深く体験することができました。同時に放射線医学の進歩には工学の進歩が非常に大きく関わっており、工学系の専門家と医療系の専門家が連携することで成り立っていることも実感しました。

私自身も含め、今回参加した学生が将来どのような進路に進むかは分かりません。しかし、本オープンスクールを通じて、医学と工学それぞれの専門分野をうまく協調させることで、医療をより良いものへと発展させていくことが大切だと強く思うようになりました。

最後になりましたが、このような素晴らしい機会を与えて下さった土屋了介先生、辻井博彦先生、櫻井英幸先生をはじめとする筑波大学附属病院の皆様、筑波大学サイバニクス研究センターの山海嘉之先生、特別講演をしていただいた Tony Hsiang-Kuang Liang 先生、株式会社日立製作所ヘルスケアビジネスユニット日立高精度放射線治療研修センターの皆様、ならびに公益財団法人医用原子力技術研究振興財団の皆様がこの場をお借りして厚く御礼申し上げます。有難うございました。



日立高精度放射線治療研修センターにて

参 考 资 料

<参考資料1>

開催実績

1回	<p>日程：2008年8月13日(水)～14日(木) 主催：放射線医学見学ツアー実行委員会 共催：国立がんセンター、医用原子力技術研究振興財団 見学先：国立がんセンター中央病院、放射線医学総合研究所 特別講演：「PET装置のもつ可能性に挑戦する放射線の技術」 放射線医学総合研究所 分子イメージング研究センター 村山秀雄先生 参加者：23名</p>
2回	<p>日程：2009年8月25日(火)～26日(水) 主催：医師のキャリアパスを考える医学生の会 共催：医用原子力技術研究振興財団 見学先：癌研有明病院、国立がんセンター東病院 特別講演：「放射線医学の魅力ー将来の進路を考える若者たちへー」 市立堺病院・元国立がんセンター中央病院 池田 恢先生 参加者：10名</p>
3回	<p>日程：2010年8月17日(火)～18日(水) 主催：医師のキャリアパスを考える医学生の会 共催：医用原子力技術研究振興財団 見学先：癌研有明病院、放射線医学総合研究所 特別講演：「放射線医学の魅力」 京都大学大学院医学研究科 平岡真寛先生 参加者：28名</p>
4回	<p>日程：2011年8月15日(月)～16日(火) 主催：医師のキャリアパスを考える医学生の会 共催：医用原子力技術研究振興財団 見学先：兵庫県粒子線医療センター、SPring8、兵庫県立がんセンター 特別講演：「放射線腫瘍医になろう」 近畿大学医学部放射線腫瘍学部門 西村恭昌先生 参加者：22名</p>
5回	<p>日程：2012年8月27日(月)～28日(火) 主催：医師のキャリアパスを考える医学生の会 共催：医用原子力技術研究振興財団 見学先：放射線医学総合研究所、がん研有明病院 特別講演：筑波大学附属病院 陽子線医学利用研究センター 櫻井英幸先生 参加者：26名</p>
6回	<p>日程：2013年8月22日(木)～23日(金) 主催：医師のキャリアパスを考える医学生の会 共催：医用原子力技術研究振興財団 見学先：東芝メディカルシステムズ、東芝電子管デバイス、群馬大学重粒子線医学研究センター、 がん・感染症センター都立駒込病院 特別講演：「放射線腫瘍医として27年で学んだこと」 放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター 唐澤久美子先生 参加者：20名</p>
7回	<p>日程：2014年8月22日(金)～23日(土) 共催：医師のキャリアパスを考える医学生の会、医用原子力技術研究振興財団 見学先：北里大学病院、神奈川県立がんセンター、エレクトラ株式会社 特別講演：「チーム医療は楽しい」 神奈川県立がんセンター 中山優子先生 参加者：34名</p>
8回	<p>日程：2015年8月27日(木)～28日(金) 主催：医用原子力技術研究振興財団 共催：医師のキャリアパスを考える医学生の会 見学先：京都大学医学部附属病院、株式会社島津製作所 特別講演：「私と粒子線治療」 医用原子力技術研究振興財団 辻井博彦先生 参加者：41名</p>
9回	<p>日程：2016年8月24日(水)～25日(木) 主催：医用原子力技術研究振興財団 共催：医師のキャリアパスを考える医学生の会 見学先：三菱電機株式会社 電力システム製作所、神戸低侵襲がん医療センター 特別講演：「がん医療をリードする放射線医学」 神戸大学大学院医学研究科 杉村和朗先生 参加者：30名</p>
10回	<p>日程：2017年8月29日(火)～30日(水) 主催：医用原子力技術研究振興財団 共催：医師のキャリアパスを考える医学生の会、RamSEP 放射線災害の全時相に対応できる人材育成 見学先：株式会社日立製作所 ヘルスケアビジネスユニット 日立高精度放射線治療研修センター 筑波大学附属病院 特別講演："Particle Therapy in Asia: Current and Future Developments" Hsiang-Kuang Tony Liang (梁祥光), B.S. (Physics), M.D. National Taiwan University 参加者：34名</p>

講義資料（1日目）

①粒子線治療の基礎

株式会社日立製作所ヘルスケアビジネスユニット

秋山 浩

②X線治療の基礎

株式会社日立製作所ヘルスケアビジネスユニット

藪田 和利

③重粒子線がん治療の概要

国立研究開発校法人量子科学技術開発機構

放射線医学総合研究所

野田 耕司

H29 放射線医学オープンスクール

粒子線治療の基礎

放射線治療システム事業部粒子線治療システム本部
秋山 浩

HITACHI
Inspire the Next

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved.


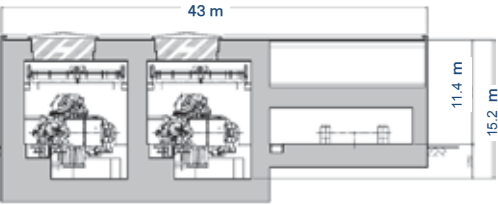
日立の樹 **HITACHI**
Inspire the Next



ロケーション	アメリカ合衆国ハワイ州オアフ島モアナレア・ガーデン
大きさ	高さ: 約25m; 幅: 約40m; 胴回り: 約7m
樹齢	約130年
名称	モンキーポッド(MONKEY POD)
学名	サマネア・サマン(SAMANEA SAMAN)
俗称	アメリカネム/サマンの木
特徴	モンキーポッドは、中南米を原産とする豆科の植物で、広く亜熱帯の各地に分布しています。大きく広げた枝の葉は、シダに似た形をしていて、日の出とともに開き、午後になると閉じます。年に2回、5月と11月の頃、花を咲かせます。

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved.

日立の樹 **HITACHI**
Inspire the Next

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved.

HITACHI
Inspire the Next

放射線の種類による性質の違い

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved.

炭素線と陽子線
放射線治療に使われている放射線の種類

炭素線も陽子線も同じ「粒子線」「荷電粒子」に分類され、基本的な性質は同じです。

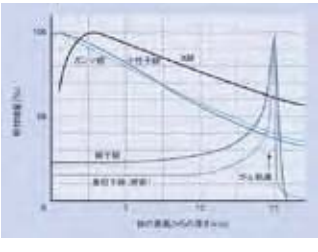
```

    graph LR
      A[放射線] --> B[光子線]
      A --> C[電子線]
      A --> D[粒子線]
      B --> B1[X線]
      B --> B2[ガンマ線]
      D --> E[非荷電粒子]
      D --> F[荷電粒子]
      E --> E1[中性子線]
      F --> F1[炭素線(重粒子線)]
      F --> F2[陽子線]
      F --> F3[パイ中間子]
  
```

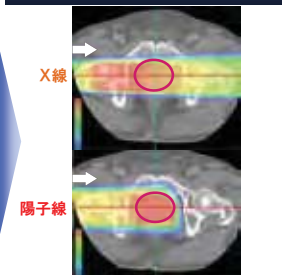
© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved.

粒子線治療について **HITACHI**
Inspire the Next

放射線の体内挙動



治療計画による比較



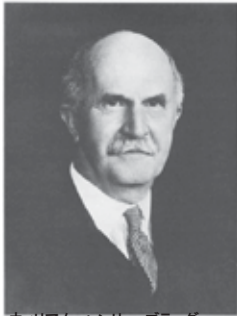
陽子線治療の特徴

- ① フラッグピークの位置を調節し病変部を狙い撃ちできる
- ② X線に比べ、腫瘍部周辺の正常組織部へのダメージを低減できる

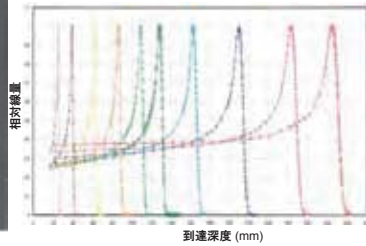
© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved.

ブラッグ曲線の発見

HITACHI
Inspire the Next



1903年 – ブラッグ曲線の発見



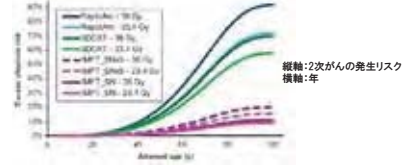
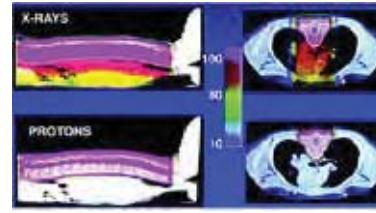
ウィリアム・ヘンリー・ブラッグ
(William Henry Bragg)
1862年7月2日 - 1942年3月12日
1915年ノーベル物理学

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved.

6

X線と陽子線の線量分布の比較

HITACHI
Inspire the Next



© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved.

7

HITACHI
Inspire the Next

粒子線治療の歴史

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved.

粒子線治療の始まり

HITACHI
Inspire the Next

- 1946年 – Wilsonが加速器で加速した荷電粒子をがん治療に適用することを発案
- 1947年 – WilsonとTobiasがLBLで生物実験を開始
- 1954年 – LBLで陽子、重陽子、Heを使った治療を開始



LBNL Pioneers of Hadron Therapy



Robert R. Wilson
1914–2000
Cornelius A. Tobias
1918–2000

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved.

9

粒子線治療の歴史

HITACHI
Inspire the Next

- 1895年 – RöntgenによるX線の発見とX線を用いた治療の開始
- 1898年 – Rutherford, α 線と β 線を発見。
- 1903年 – Bragg曲線の発見
- 1911年 – Rutherfordに α 線の散乱実験を行い、原子核を発見。
- 1930年 – Wilson、サイクロトロン基礎理論を発表
- 1946年 – Wilsonが加速器で加速した荷電粒子をがん治療に適用することを発案
- 1947年 – WilsonとTobiasがLBLで生物実験を開始
- 1954年 – LBLにベヴァトロンを建設、陽子、重陽子、Heを使った治療を実施
- 1957年 – スウェーデンのウプサラ大学で陽子線治療を開始
- 1975年 – 1992年 Laurence Berkeley LaboratoryでHeにより2000人以上を治療
- 1957年 – 1976年 スウェーデン、Uppsala、陽子により70名以上を治療
- 1961年 – 2002年 HarvardにてMGHと共同で陽子により1万人近くを治療
- 1979年 – 放医研において陽子線により145名を治療
- 1983年 – 2000年 筑波大学が高エネルギー研究所の陽子ビームを用い700名を治療
- 1990年 – Loma Linda大学で世界初の病院併設型で回転ガントリ付陽子線装置が稼動
- 1994年 – 放医研において炭素線治療開始
- 1998年 – 国立がんセンター東病院に日本初の病院併設陽子線治療装置稼動
- 2001年 – 兵庫県粒子線医療センターにて陽子線治療の治験開始
- 2001年 – 筑波大学陽子線治療装置治療開始
- 2003年 – 静岡県立がんセンター陽子線治療装置治療開始

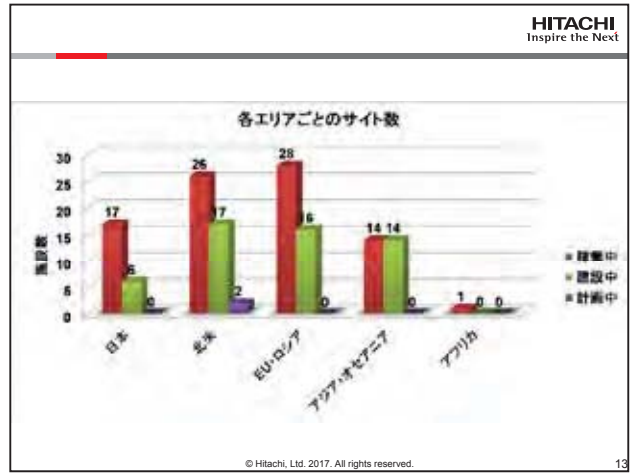
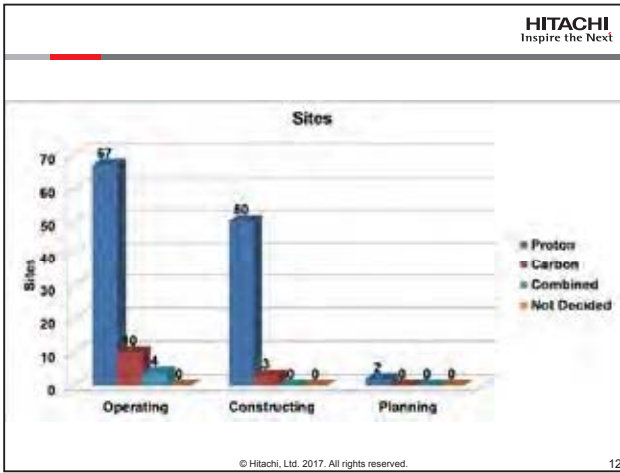
© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved.

10

HITACHI
Inspire the Next

粒子線治療の適用と普及

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved.



HITACHI
Inspire the Next

粒子線治療システムの構成

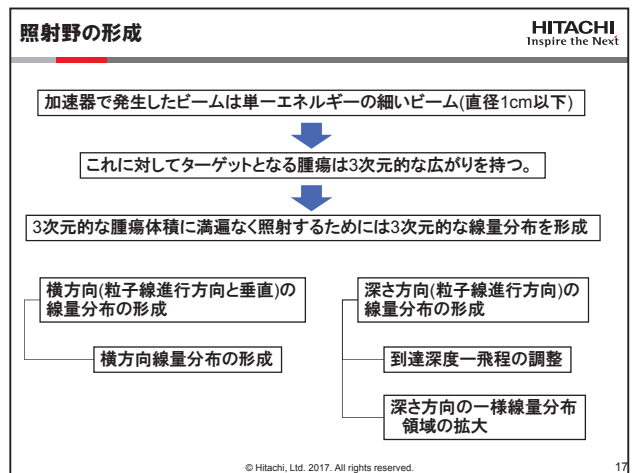
© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 14



HITACHI
Inspire the Next

照射野の形成

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 16



荷電粒子の性質

HITACHI Inspire the Next

荷電粒子が物質を通過すると.....

① 散乱
散乱して広がってゆく

② エネルギー損失
エネルギーを失う→飛程が減る
飛程が短くなる。

①散乱と②エネルギー損失の2つの性質を活用して照射野を生成する。

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 18

深さ方向(粒子線進行方向)の線量分布の形成

HITACHI Inspire the Next

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved.

陽子線線量分布の深さ方向のパラメータ

HITACHI Inspire the Next

粒子線

体表

体内

ターゲット

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 20

到達深度-飛程の調整

HITACHI Inspire the Next

粒子線

体表

体内

ターゲット

響き板

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 21

飛程調整方法

HITACHI Inspire the Next

粒子線のエネルギーを変えることにより飛程を調整する。

- ① 加速器からのビームエネルギーを変える。
- ② 治療室内でビームを物質内を通過させエネルギーを調整 → レンジシフタ(飛程調整器)

陽子線の飛程と光速との比

炭素線の飛程と光速との比

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 22

粒子線は荷電粒子

HITACHI Inspire the Next

陽子線 → 水素イオン (${}^1\text{H}^+$)

炭素線 → 炭素イオン (${}^{12}\text{C}^{6+}$)

質量数

荷電数

炭素は陽子の12倍の重さ

荷電粒子の2つの性質

荷電粒子は電位差があると加速されエネルギーを獲得

磁場中を通過すると曲がる。(但、エネルギーは増えない。)

正電位(+)

負電位(-)

加速

エネルギーの単位:eV
1Vの電圧で加速したときに電子が得るエネルギー
 $1\text{eV} = 1.60217733(49) \times 10^{-19}\text{J}$

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 23

荷電粒子の加速

HITACHI Inspire the Next

腫瘍を照射可能な到達深度を得るためには荷電粒子を高エネルギーまで加速する必要がある。

30cm程度の到達深度を得るためには...

陽子は220MeV以上(光速の約50%以上)
炭素は430MeV/u(光速の70%以上)

荷電粒子を高エネルギーまで加速する加速器が必要

陽子線の飛程と光速との比

炭素線の飛程と光速との比

水中飛程 (cm)

エネルギー (MeV)

エネルギー (MeV/u)

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 24

荷電粒子の加速器の種類

HITACHI Inspire the Next

- ◎ イオン源
プラズマを発生させて、その中から水素イオンである陽子や炭素イオンを発生させます。10kVから30kV程度までの電圧で加速します。
- ◎ 線形加速器(ライナック)
直線型の加速器です。1mあたり0.5MVから1MV程度の電圧で加速します。低エネルギーの粒子線の加速に向いています。最高エネルギーまで加速しようとすると非常に長くなってしまいます。したがって、シンクロトロンの入射器等に使われています。
- ◎ サイクロトロン
イオン源からの粒子線を高エネルギーまで加速します。加速器自体は固定エネルギーです。粒子の周回周期は一定で粒子の軌道半径はエネルギー増大に伴い大きくなります。
- ◎ シンクロトロン
入射器として線形加速器を用い、粒子線を高エネルギーまで加速します。粒子の軌道は一定です。その代わりに、エネルギーの増大とともに電磁石の磁場強度を高め、また、周回の周期が速くなります。

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 25

陽子線と炭素線の加速器

HITACHI Inspire the Next

筑波大、MDA、名古屋市殿向
陽子シンクロトロン
250 MeV 直径~7 m

放医研 殿HIMAC
重粒子シンクロトロン(日立担当)
炭素、ヘリウム等を加速
800MeV/n 直径~40 m

日立重粒子
シンクロトロン
大阪向
430 MeV/n
直径~17 m

北大殿向
陽子シンクロトロン
230 MeV 直径~5 m

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 26

荷電粒子の性質

HITACHI Inspire the Next

荷電粒子が物質を通過すると.....

① 散乱
散乱して広がってゆく

② エネルギー損失
エネルギーを失う→飛程が減る
飛程が短くなる。

①散乱と②エネルギー損失の2つの性質を活用して照射野を生成する。

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 27

到達深度—飛程の調整

HITACHI Inspire the Next

体表

体内

ターゲット

粒子線

相対線量

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 28

到達深度—飛程の調整

HITACHI Inspire the Next

体表

体内

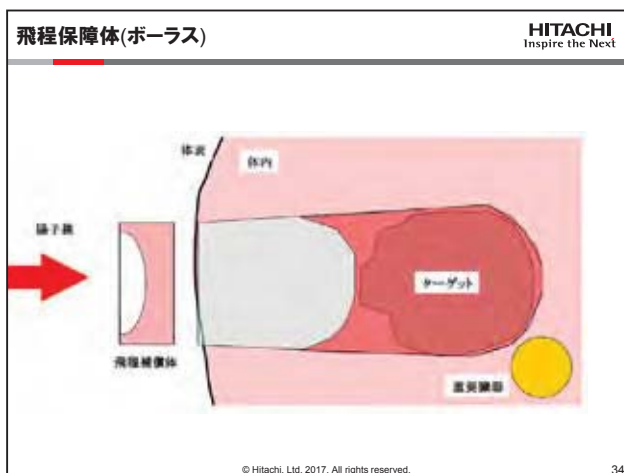
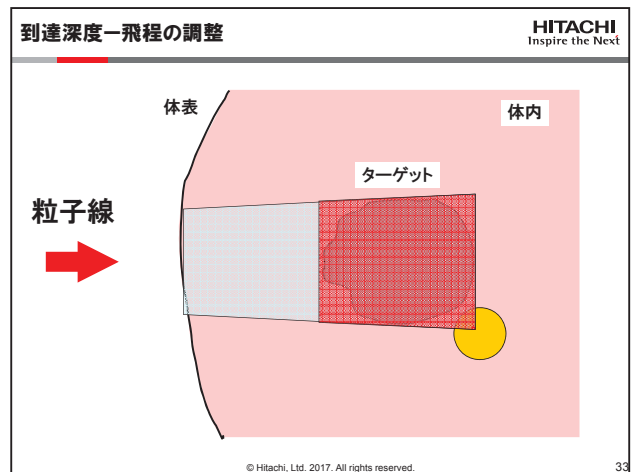
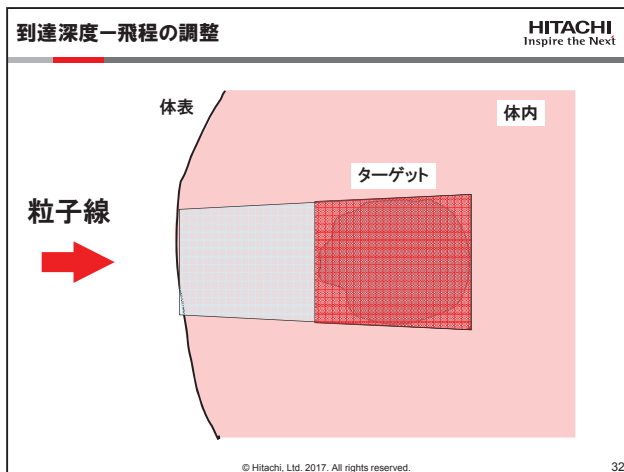
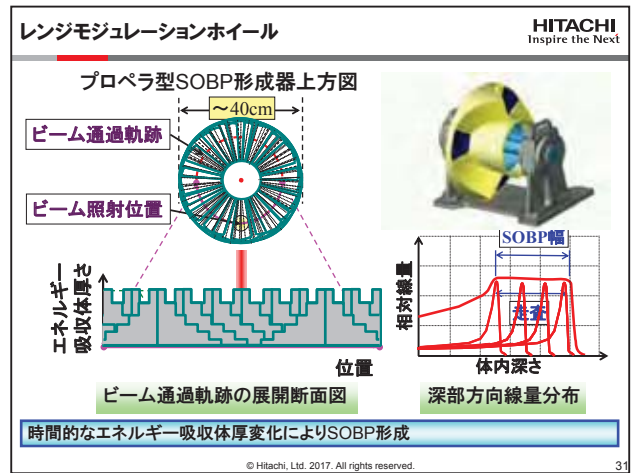
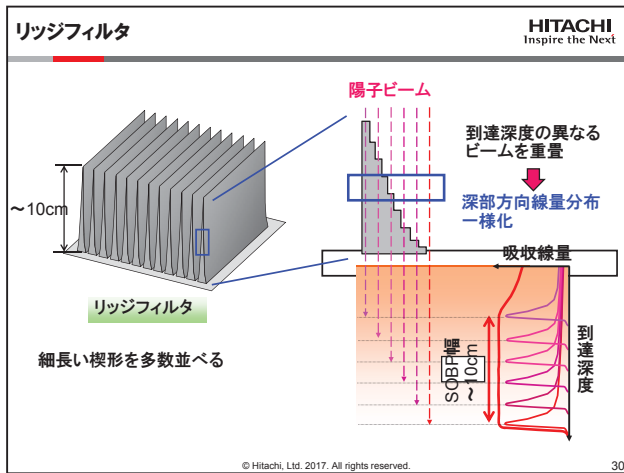
ターゲット

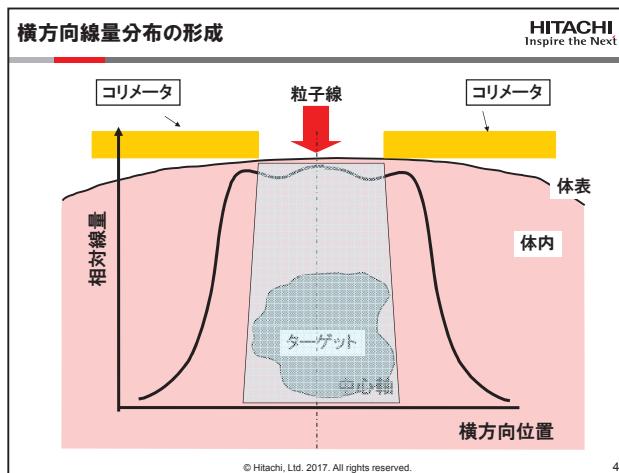
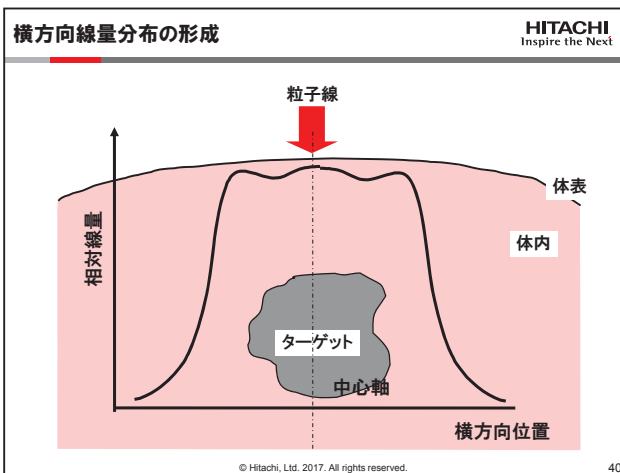
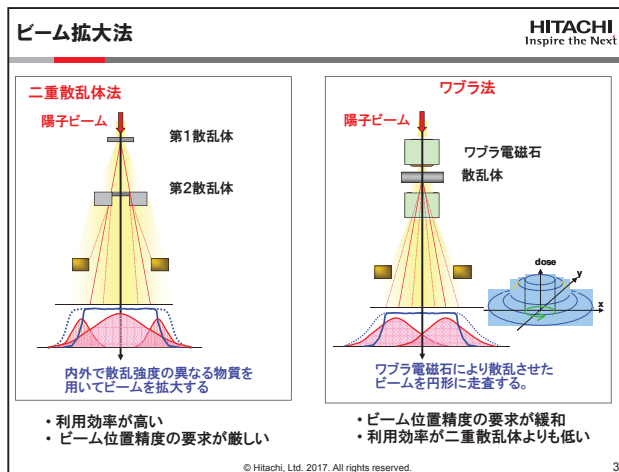
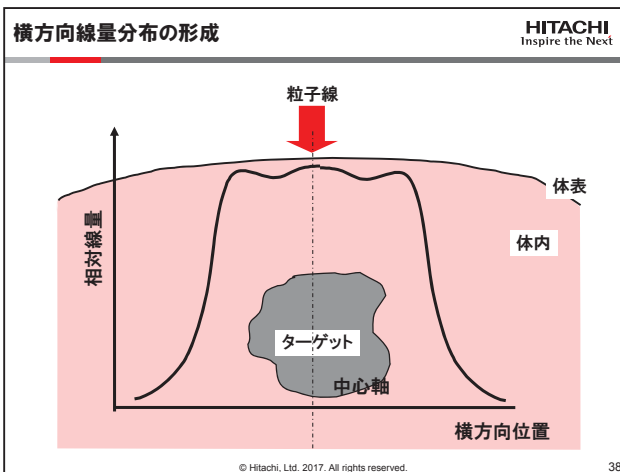
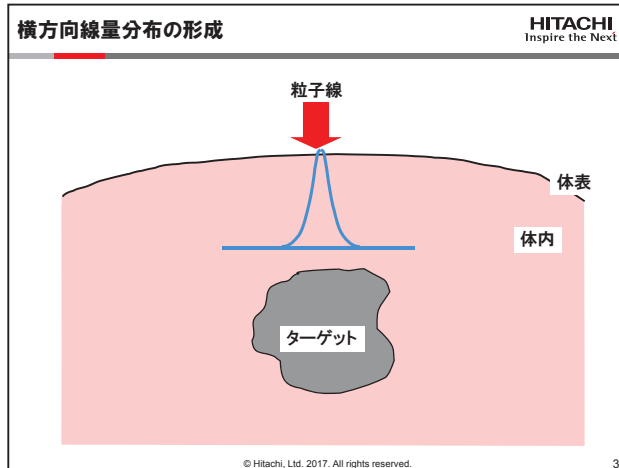
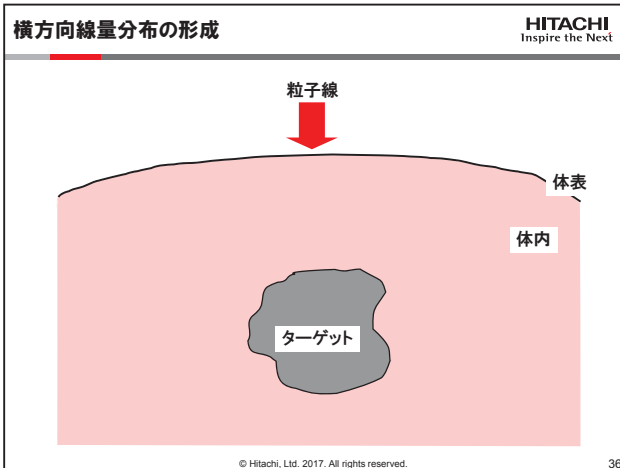
SOBP幅

粒子線

相対線量

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 29





頭頸部治療におけるMFO-IMPT

HITACHI Inspire the Next

- 粘膜炎の減少
- 嚥下痛の減少
- 嚥下障害の減少
- 口腔乾燥症の減少
- 味覚保存
- 体重減少
- 口腔乾燥症の減少
- 味覚保存

Fig. 3. T2N2b human papillomavirus-positive squamous cell carcinoma of the right tongue base in a 67-year-old man. (a, e) Positron emission tomographic/computed tomographic scans showing avid primary tumor and cervical node metastases. (b, f) Isodose lines of the multifield optimization intensity modulated proton therapy treatment plan in the axial (b) and coronal (f) planes. (c, g) Confluent mucositis at the tongue base with no mucositis at the anterior local tongue (c) and grade 2 radiation dermatitis on the neck (g) after receipt of 66 Gy(RBE) with concurrent cetuximab illustrating treatment reactions consistent with the treatment plan. (d, h) Positron emission tomographic/computed tomographic scans obtained 10 weeks after treatment illustrating complete clinical, metabolic, and radiographic response. The patient remains without evidence of disease at 2.5 years after treatment.

*Ref.: S. Frank et al., Int J Radiation Oncol Biol Phys, Vol.89, No.4, pp. 846-853, 2014
© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved.

肺がんにおける線量分布の比較

HITACHI Inspire the Next

IMRT IMPT

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved.

日立粒子線治療システム

HITACHI Inspire the Next

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved.

日立粒子線治療システム納入/契約実績

HITACHI Inspire the Next

Heidelberg Ion Therapy Center
香港美和病院
若狭湾エネルギー研究センター
北海道大
京都府立医大
シンガポール国立がんセンター
大阪重粒子線がん治療施設
名古屋重粒子線治療センター
Major Hospital Arizona
Major Hospital Rochester
St. Jude Children Research Hospital
Major Hospital Washington D.C.
MD Anderson Cancer Center
筑波大学
国立がん研究センター東病院

1: 運転開始済・建設中(導入決定を含む)
2: 2009年11月に原簿用研究照射の運用を終了

全設備
一部設備

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved.

日立製作所の粒子線治療事業の取り組み

HITACHI Inspire the Next

1998 筑波大学重粒子線医学利用研究センター(PMRC)
2001 二重散乱体法の回転ガントリック2重。呼吸同期照射による肝臓がん、肺がんの症例多数。近年は小児がん治療も増加。2015年6月までに約3,300名を治療。

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved.

日立製作所の粒子線治療事業の取り組み

HITACHI Inspire the Next

2002 MD Anderson Cancer Center / PROTON THERAPY CENTER, Houston, TX, USA
2006 回転照射室3(二重散乱体2、スキヤニング1)、固定照射室1(二重散乱体)、実験室1。商用システムとしては世界で初めてFDA取得。2015年8月までに約6,300名を治療。内スキヤニングで約1,400名を治療。

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved.

日立製作所の粒子線治療事業の取り組み

HITACHI Inspire the Next

2008 筑波大学陽子線医学利用研究センター(PMRC)
 2013) 二重散乱体法の回転ガントリ重2室。呼吸同期照射による肝臓がん、肺がんの症例多数。近年は小児がん治療も増加。2013年2月より治療開始。2015年6月までに約900名を治療。2014年度1年間で約500名を治療。

© Hitachi, Ltd., 2017. All rights reserved. 54

日立製作所の粒子線治療事業の取り組み

HITACHI Inspire the Next

2010 Hokkaido University Proton Beam Therapy Center, Sapporo, Japan
 2014) スキャンングのみの1室システム。小型シンクロトロン、小型360度回転ガントリ、ロボット型治療台、動体追跡システム、ガントリ搭載型CBCT、2D/2D、3D/3Dマッピング。2014年3月に治療開始。2014年10月には動体追跡システム開始。

© Hitachi, Ltd., 2017. All rights reserved. 55

粒子線治療システムの実績

HITACHI Inspire the Next

2016/03	Hong Kong Sanatorium & Hospital, Hong Kong, China
2016/01	National Cancer Center Singapore, Singapore
2015/07	永守記念最先端がん治療研究センター、京都府京都市、日本
2015/06	Sibley Memorial Hospital, a member of Johns Hopkins Medicine, Washington D.C., U.S.A.
2014/07 (2013)	大阪重粒子線がん治療施設、大阪府大阪市、日本
2011/05 2014/03	Mayo Clinic Phoenix, AZ, U.S.A.
2011/07 2015/12	St. Jude Children Research Hospital, Memphis TN, U.S.A.
2011/05 2015/08	Mayo Clinic Rochester, MN, U.S.A.
2010/07 2014/03	北海道大学病院陽子線治療センター、北海道札幌市、日本
2009/12 2013/02	名古屋陽子線治療センター、愛知県名古屋市、日本
2002/12 2008/05	MD Anderson Cancer Center / PROTON THERAPY CENTER, Houston, TX, U.S.A.
1998/04 2001/03	筑波大学附属病院陽子線治療センター、茨城県つくば市、日本
1998/03 2002/06	若狭湾エネルギー研究センター (W-MAST)、福井県敦賀市、日本
1995	国立がんセンター東病院、千葉県船橋市、日本
1994	放射線医学総合研究所(HIMAC)、千葉県千葉市、日本

↑ 最先端技術の導入
↑ 最先端技術の普及

© Hitachi, Ltd., 2017. All rights reserved. 56

日立粒子線システム開発

HITACHI Inspire the Next

■ 日米の最先端病院の顧客課題を解決しつつ差別化技術を構築

~2000 2001 2006 2013 2014 2015 2018~
 KEK,放医研筑波大 MDA 名古屋 北大 Mayo St.Jude JHM 京都 大阪

照射技術進化 → 散乱体 → スキャンング

大型加速器 基盤技術 → 日立初の治療専用機 → スキャンング世界初実用化 → 移動性臓器対応 → 小型システム実現 → 重粒子 → 移動性臓器対応スキャンング

MDAでの治療 → 接地面積従来比約60% シンクロトロン小型化 → 移動性臓器対応スキャンング

KEK: High Energy Accelerator Research Organization, MDA: MD Anderson, JHM: Johns Hopkins Medicine
 © Hitachi, Ltd., 2017. All rights reserved. 57

スポットスキャンングとIMPT

HITACHI Inspire the Next

■ 先端技術「スキャンング照射」を顧客(MDA)と開発、実現

スキャンング照射

走査電磁石、陽子、電磁的走査、腫瘍、照射制御手法

頭頸部がん IMPT治療例*

腫瘍に線量集中 → 治療効果向上
 ・嚥下障害数、味覚障害数低減
 ・栄養チューブ不要

2000/12	MDAが世界初のスキャンング照射導入を計画
2002/12	日立との契約締結
2008/5	商用機世界初のスキャンング照射実現、治療開始
現在	最新照射技術 強度変調陽子線治療(IMPT)の実績世界No.1

IMPT: Intensity Modulated Proton Therapy
 *Ref.: S. Frank et al., Int. J. Radiation Oncol Biol Phys, Vol. 66, No. 3, pp. 819-824, 2002
 © Hitachi, Ltd., 2017. All rights reserved. 58

日立のスポットスキャンングの歩み

HITACHI Inspire the Next

- 2007年12月 : 世界で初めて米国のFDA510(K) クリアランス取得
- 2008年2月 : 世界最大級のがん専門病院である米国のMDアンダーソンがんセンターに、一般病院としては世界で初めて同技術を採用したシステムを導入
- 2008年5月 : 同病院でスポットスキャンング照射による治療開始 (現在累積で1,800人以上の患者さんを治療)
- 2011年1月 : 日本国内で初めて、薬事法に基づく医療機器販売承認取得
- 2014年1月 : 名古屋陽子線治療センターにて、アジアで初めて、陽子線でのスポットスキャンング照射による治療開始

以下、全ての治療室がスポットスキャンング照射専用のシステム

- 2014年3月 : 北海道大学病院陽子線治療センターにて治療開始
- 2015年6月 : 米国大手総合病院(ミネソタ州)にて治療開始予定
- 2015年12月 : 米国小児治療専門病院(テキサス州)にて治療開始予定
- 2016年3月 : 米国大手総合病院(アリゾナ州)にて治療開始予定

© Hitachi, Ltd., 2017. All rights reserved. 59

HITACHI
Inspire the Next

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved.

X線治療の基礎

－ 放射線医学オープンスクール －

日立製作所 ヘルスケアビジネスユニット
X線治療システム営業本部 藪田和利

2017/08/29

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved.

放射線と人体の相互作用

放射線治療の仕組み

- － 放射線治療技術
- － 放射線治療計画

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 1

細胞の感受性

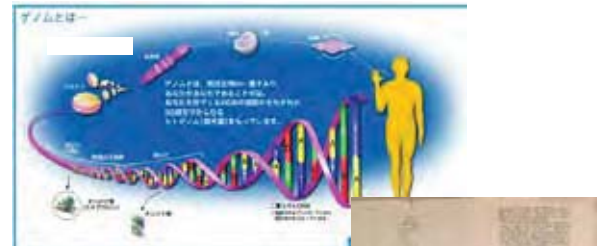
放射線の細胞への影響(細胞の放射線感受性)は、

- ①細胞分裂頻度が高いほど
- ②将来、分裂回数が多いほど
- ③形態的、機能的に未分化なほど、大きくなる。

フランスの医師・生物学者の、ジャン＝アルバン・ベルゴニエとルイ・トリボンドーが、1906年にマウス細胞に対するRa照射の実験で発見した。

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 2

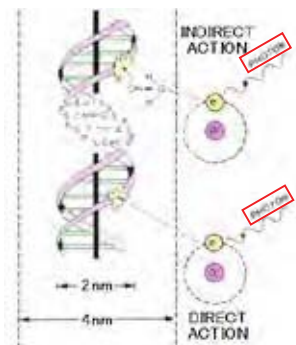
放射線相互作用の対象



「ヒトゲノムマップ」 ©京都大学大学院 生命科学研究所 生命文化学研究室

3

人体と放射線の相互作用



E.J.Hall(著)浦野宗保(訳)放射線科医のための放射線生物学(第4版、講義出版(1995)より

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 4

DNA損傷

- 正常な代謝に伴って副生する活性酸素による攻撃といった細胞内に起因するもの。
- 環境由来のもの
 - － X線、あるいはγ線といった、波長の短い電磁波の照射
 - － 紫外線照射
 - － タバコの煙からの炭化水素など、人造の変異原性物質



人の体の皮膚細胞の遺伝子に自然発生する傷の数
1時間に1細胞あたり約12810回 発生する。

Hellock,H.J et al.,Proc.Acad.Sci.,USA,95,288(1998);Sellow,R.B.In,Assessment of Risk from Low-Level Exposure to Radiation and Chemicals (edited by A.D.Woodhead et al.),Plenum Publishing Co.,251-260(1985)

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 5

細胞周期 HITACHI
Inspire the Next

傷の生じたDNAを孫の世代へ伝えない仕組み

修復できないDNAの損傷が蓄積した細胞ではアポトーシスが起こる。

細胞複製分裂のステップに進ませない。

肝臓がん細胞のDNA修復機構と細胞周期 - がん細胞のDNA修復機構と細胞周期 - 国立がん研究センターがん情報システム研究センター がん科学総合研究センター ランクアップ推進・情報研究グループ

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 6

Tumor Control Probability HITACHI
Inspire the Next

効果 ↑

回復 不能 ↑

Tumor Organ

線量 →

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 7

放射線による人体への影響 HITACHI
Inspire the Next

広島原爆や原発従事者によるデータ疫学調査と動物実験等で詳細に研究されています。

100mSvあびると発がん率が10%増える。
(確率的影響)

* E. Cardis, et al., Risk of cancer after low doses of ionizing radiation: retrospective cohort study in 15 countries. BMJ published 29 : 2005

4Gyあびると二人に一人は30日以内に亡くなる。
LD50(30) = 4Gy

RADIATION BIOLOGY: A HANDBOOK FOR TEACHERS AND STUDENTS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY VIENNA, 2010

50Gy 脊髄にあたると信号が途絶する。
(確定的影響)

* Edmund B. Lyman, J. Strawn, A. et al. Tolerance of normal tissue to therapeutic irradiation. Int J Radiat Oncol Biol Phys 21:109-122, 1991.

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 8

content HITACHI
Inspire the Next

放射線と人体の相互作用

放射線治療の仕組み

- 放射線治療技術
- 放射線治療計画

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 9

X線治療装置の種類 HITACHI
Inspire the Next

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 10

1門	2門
4門	8門

- 110.0 keV
- 107.0 keV
- 105.0 keV
- 100.0 keV
- 95.0 keV
- 90.0 keV
- 80.0 keV
- 70.0 keV
- 60.0 keV
- 50.0 keV
- 40.0 keV
- 30.0 keV

© Hitachi, Ltd. All rights reserved.

放射線治療技術キーワード HITACHI
Inspire the Next

- **強度変調放射線治療 (IMRT)**
Intensity Modulate Radiation Therapy
- **画像誘導放射線治療 (IGRT)**
Image Guide Radiation Therapy
- **定位照射 ピンポイント照射 (SRT)**
Radio Surgery Therapy

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 12

放射線治療計画ガイドライン(耳鼻科) HITACHI
Inspire the Next



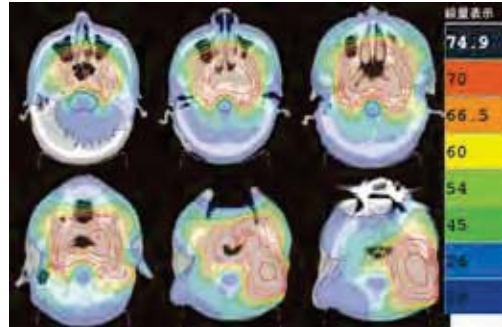
放射線治療計画ガイドライン2012 日本放射線腫瘍学会編
© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 13

IMRTの発想 HITACHI
Inspire the Next



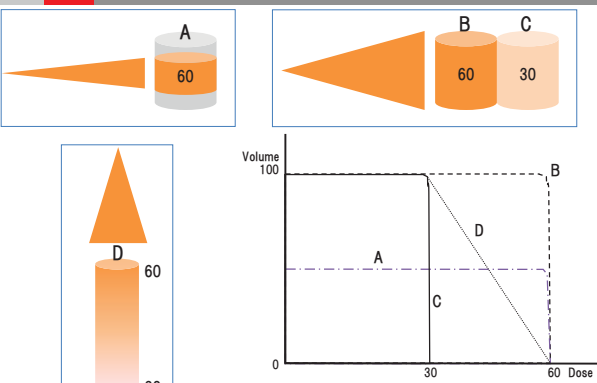
放射線治療計画ガイドライン2012 日本放射線腫瘍学会編
© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 14

複雑な臓器構成 HITACHI
Inspire the Next



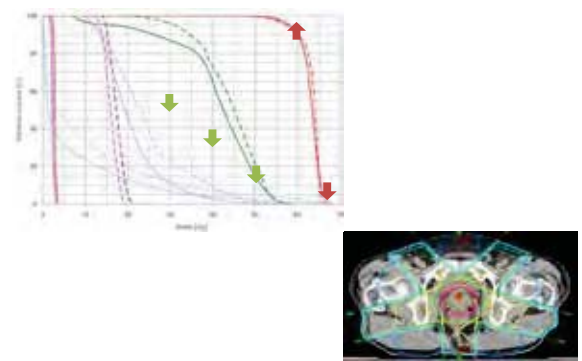
放射線治療計画ガイドライン2012 日本放射線腫瘍学会編
© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 15

DVH: Dose Volume Histogram HITACHI
Inspire the Next



© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 16

DVH: 線量制約 HITACHI
Inspire the Next



© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 17

臓器の機能特性 HITACHI
Inspire the Next

直列臓器

ex) 脊髄

並列臓器

ex) 肺

人体との相互作用 HITACHI
Inspire the Next

CT:

KV-X線
100kV

治療:

MV-X線
6MV

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 19

CT-value vs ElectronDensity HITACHI
Inspire the Next

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 20

X線energyと相互作用 HITACHI
Inspire the Next

光電効果
反応断面積 $\tau \propto Z^5 \times E^{-3.5}$

コンプトン効果
反応断面積 $\sigma \propto Z$

電子対生成
反応断面積 $\kappa \propto Z^2$

X線エネルギーと物質の相互作用

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 21

X線エネルギーと画像の特性 HITACHI
Inspire the Next

kV

MV

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 22

人体の反応 HITACHI
Inspire the Next

- つねに新しい細胞に置き換えられていく
- 新しい細胞は細胞分裂をしながら分化(成熟)していく
- 古い細胞ははがれおちていく
- 新しくできた細胞が用意されている

皮膚の細胞モデル

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 23

有害事象(副作用) HITACHI
Inspire the Next

急性期有害事象
 治療期間中に発生する
 治療が終わると治る
 つらいけど頑張って完遂する


晩期有害事象
 治療期間が終了してから発生
 不可逆性、ほぼ治らない
 発生しないようにする

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 24

治療計画が重要 HITACHI
Inspire the Next

- 放射線治療は
- 放射線の性質を考えつつ
- 治療の計画を立て、
- そのとおりに実現する

治療計画システムの
能力が非常に重要に



© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 25

最新型放射線治療計画システムRayStation HITACHI
Inspire the Next



© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 26

Multi-Criteria Optimization (MCO) HITACHI
Inspire the Next



© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 27

Deformable Image Registration HITACHI
Inspire the Next

■ 専用ワークスペースで、DIR (変位量、ROI/POI形状、任意評価点など) を **視覚的・定量的** に評価が可能



© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 28

Dose Tracking HITACHI
Inspire the Next

線量計算、線量積算、評価のためのワークスペース



Data courtesy, INSERM, Rennes, France
© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 29

スクリプトによるカスタマイズ HITACHI
Inspire the Next

Python


スクリプト型プログラミング言語
にて カスタマイズ環境をユーザーに開放

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 30

治療時間中の変化に対応する技術動向 HITACHI
Inspire the Next

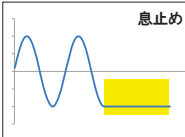
時間(1回の治療中: Intra Fraction)

4D

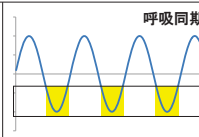


Sapenwoole Y et al, UROBP 53:822-34,2002

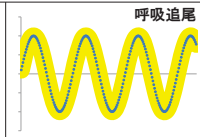
息止め



呼吸同期



呼吸追尾


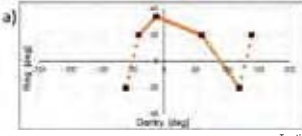
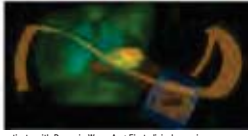


© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 31

個別症例へ対応する技術動向 HITACHI
Inspire the Next

回転軸同期制御

DynamicWaveArc ,4π

Treating patients with Dynamic Wave Arc: First clinical experience
Borghese M et al. Radiother. Oncol. 2017; Mar;122(3):347-51

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 32

Image Guide Radiation Therapy HITACHI
Inspire the Next



ギリギリ

IMRTの線量集中技術はIGRTがあることで初めて臨床で実現することができる。

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 33

まとめ HITACHI
Inspire the Next

- 未分化の細胞は感受性が高い
- 修復の機能を上回る障害で治療が成り立つ
- IMRTはDVHを目的の状態に近づける
- 変化に着目し個別対応するトレンド
- 放射線治療のフィールドで活躍を

© Hitachi, Ltd. 2017. All rights reserved. 34

HITACHI

Inspire the Next

NIRS
HIMAC

重粒子線がん治療の概要

野田 耕司
放射線医学総合研究所
2017放射線医学オープンスクールスケジュール
日立高精度放射線治療研修センター、2017年8月29日



重粒子線がん治療研究の歴史

- 1940年代ロバート・ウィルソン(米)による予言
- 1970年代カリフォルニア大学で世界初の臨床試験
- 1984年 放射線医学総合研究所でHIMAC建設計画の開始
- 1994年 HIMACで炭素線を用いた臨床試験の開始
- 2001年 兵庫県立粒子線医療センターに低エネルギー版を建設
- 2003年 有効性と安全性が確認され高度先進医療として承認
- 2004年 普及小型化研究開始
- 2006年 次世代照射システムの開発研究開始
- 2007年 群馬大で普及型実証機の建設開始
- 2010年 群馬大普及型実証機で治療開始
- 2011年 放医研・新治療研究棟で次世代型治療開始
- 2013年 Saga-HIMAT、治療開始
- 2015年 3Dスキャン呼吸同期照射開始
- 2015年 回転ガントリーコミッション開始

Wilsonによる粒子線がん治療の提案

In 1946, R. Wilson proposed the hadron RT owing to excellent physical characteristics

粒子線がん治療の特徴

ブラッグピークを利用した高い線量集中性

重イオンは多重散乱効果が小さいために横方向の線量集中性が高い。

粒子線の生物学的効果

高い生物学的効果

生物学的線量分布 (6cm SOBP)

正常組織 腫瘍

体内での深さ(cm)

RBE, OERのLET依存性

First Proton Radiotherapy



The first proton RT in the world (LBL)



184" Synchrocyclotron



First Heavy-Ion Radiotherapy



J. Castro



Bevalac

June '75: 1st He patient
 May '77: 1st C patient
 Nov. '77: 1st Ne patient
 Mar. '79: 1st Ar patient
 Nov. '82: 1st Si patient

Total: 1,314 @ '77-92
 He patients 858
 Heavier ions 456

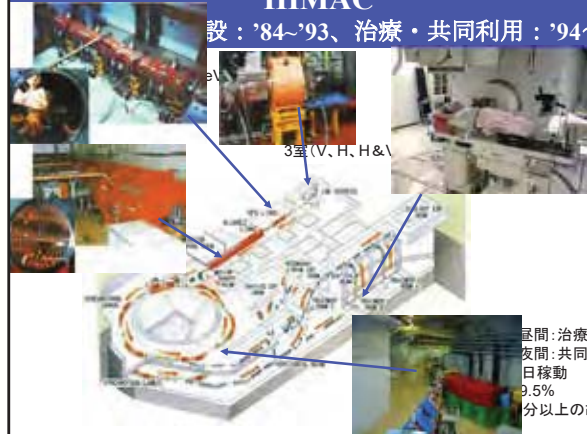


重粒子線がん治療研究の歴史

- 1940年代ロバート・ウィルソン(米)による予言
- 1970年代カリフォルニア大学で世界初の臨床試験
- **1984年 放射線医学総合研究所でHIMAC建設計画の開始**
- **1994年 HIMACで炭素線を用いた臨床試験の開始**
- 2001年 兵庫県立粒子線医療センターに低エネルギー版を建設
- 2003年 有効性と安全性が確認され高度先進医療として承認
- 2004年 普及小型化研究開始
- 2006年 次世代照射システムの開発研究開始
- 2007年 群馬大で普及型実証機の建設開始
- 2010年 群馬大普及型実証機で治療開始
- 2011年 放医研・新治療研究棟で次世代型治療開始
- 2013年 Saga-HIMAT、治療開始
- 2015年 3Dスキャン呼吸同期照射開始
- 2015年 回転ガントリーコミッション開始

HIMAC

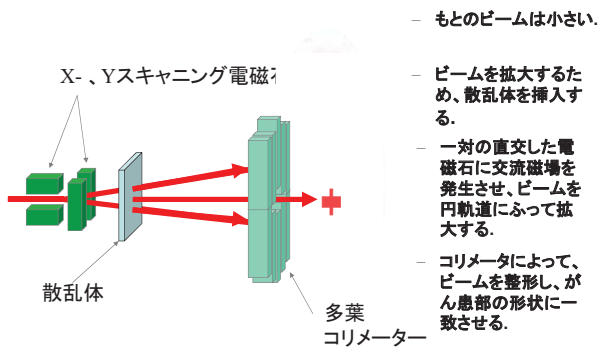
設：'84~'93、治療・共同利用：'94~



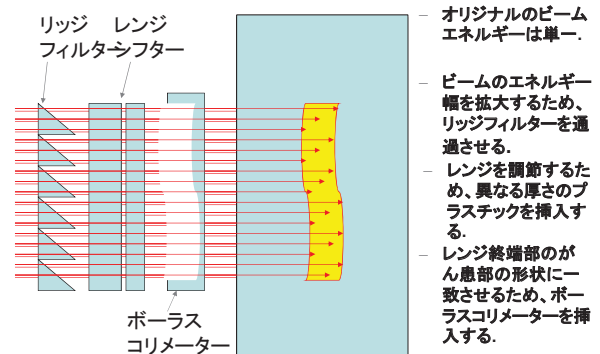
3室(V、H、H&V)

昼間：治療
 夜間：共同利用
 日稼働
 9.5%
 (分以上の故障)

治療照射法：ワブラー法による照射野形成

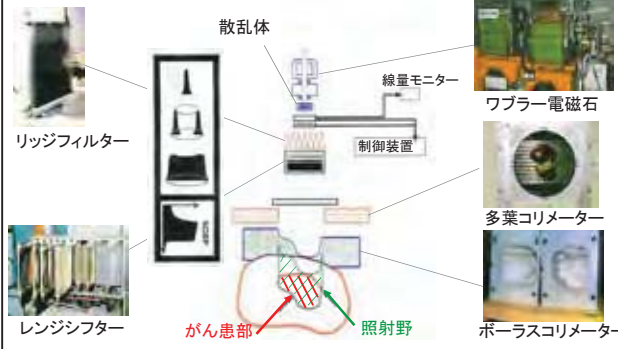


治療照射法：深さ方向照射野の形成



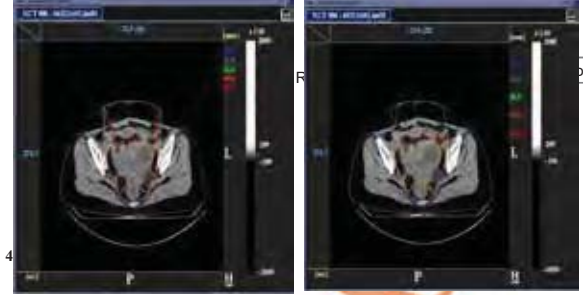
ワブラー法による照射野形成

ビーム形状の整形(拡大ブラッグピーク生成)



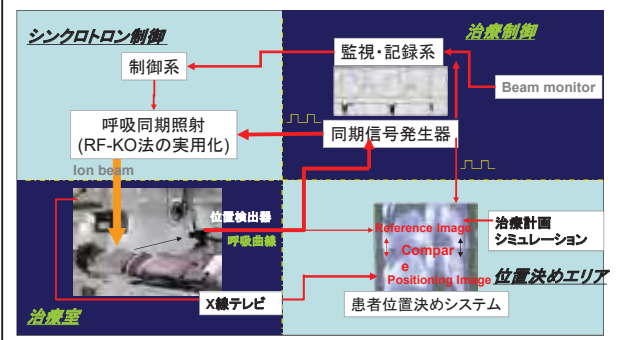
積層原体照射法の開発

Improvement of the irradiation accuracy

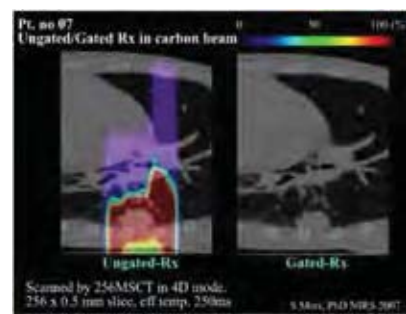


呼吸同期照射の開発

患者さんの呼吸に同期したビーム照射法の発明



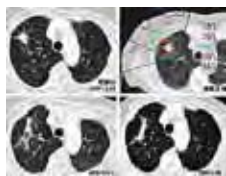
呼吸同期照射の開発



臨床研究: 短期治療

Single Fraction Treatment with Respiratory Gated Irradiation

LCR > 95%, a 5 year OSR ~ 50-60% and a cause-specific SR ~ 70-80%. These results correspond to those obtained with surgery. The treatment period and the number of fractions have been successively reduced from 18 fractions over 6 weeks to single fraction in one day. It has been carried out since April 2003.



59.4 - 95.4GyE (18 fraction)
94/10 ~ 97/8



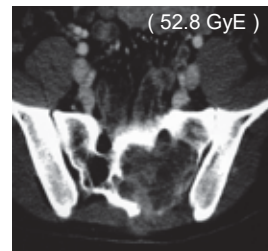
52.8 - 60GyE (4 fraction)
00/12 ~ 03/11

54 - 79.2GyE (9 fraction)
97/9 ~ 00/12

28 - 32GyE (1 fraction)
03/4 ~ 06/3

臨床研究: 放射線抵抗性腫瘍の治療

Treatment against Radio-Resistive tumor

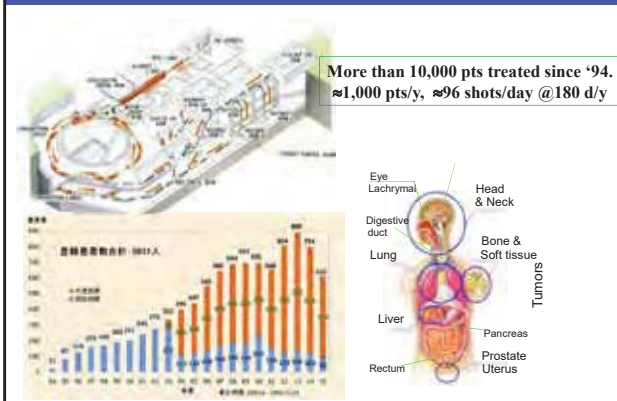


Before treatment



After 8 Year

治療部位と治療件数



重粒子線がん治療研究の歴史

- 1940年代 ロバート・ウィルソン(米)による予言
- 1970年代 カリフォルニア大学で世界初の臨床試験
- 1984年 放射線医学総合研究所でHIMAC建設計画の開始
- 1994年 HIMACで炭素線を用いた臨床試験の開始
- 2001年 兵庫県立粒子線医療センターに低エネルギー版を建設
- 2003年 **有効性と安全性が確認され高度先進医療として承認**
- 2004年 普及小型化研究開始
- 2006年 次世代照射システムの開発研究開始
- 2007年 群馬大で普及型実証機の建設開始
- 2010年 **群馬大普及実証機で治療開始**
- 2011年 放医研・新治療研究棟で次世代型治療開始
- 2013年 Saga-HIMAT、治療開始
- 2015年 3Dスキャン呼吸同期照射開始
- 2015年 回転ガントリーコミッション開始

普及型重粒子線がん治療装置の開発



普及型実証機の建設(群馬大)



普及型実証機の建設(群馬大)

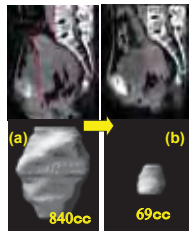


重粒子線がん治療研究の歴史

- 1940年代 ロバート・ウィルソン(米)による予言
- 1970年代 カリフォルニア大学で世界初の臨床試験
- 1984年 放射線医学総合研究所でHIMAC建設計画の開始
- 1994年 HIMACで炭素線を用いた臨床試験の開始
- 2001年 兵庫県立粒子線医療センターに低エネルギー版を建設
- 2003年 **有効性と安全性が確認され高度先進医療として承認**
- 2004年 普及小型化研究開始
- 2006年 次世代照射システムの開発研究開始
- 2007年 群馬大で普及型実証機の建設開始
- 2010年 群馬大普及実証機で治療開始
- 2011年 放医研・新治療研究棟で次世代型治療開始
- 2013年 Saga-HIMAT、治療開始
- 2015年 **3Dスキャン呼吸同期照射開始**
- 2015年 回転ガントリーコミッション開始

オンデマンド治療に向けた照射システム

開発研究・システム構築:2006~



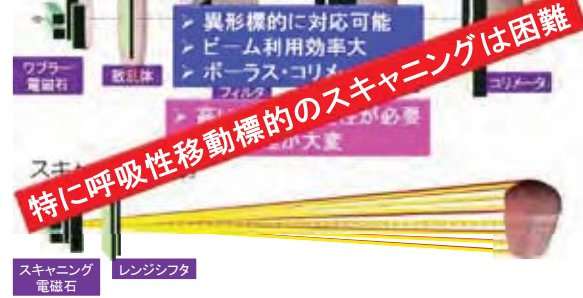
腫瘍形状、大きさの変化

治療期間中での腫瘍の形、大きさの変化に応じて治療計画を変える必要がある。

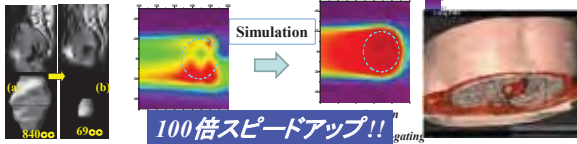
臨機応変な治療(オンデマンド治療)

ペンシルビーム3次元スキャンニング法

ブロードビーム照射



呼吸同期3次元スキャンニング法

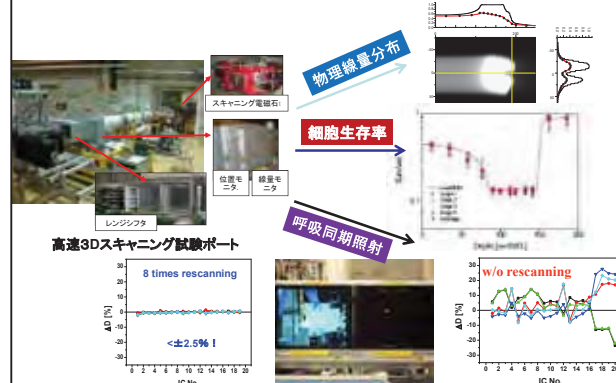


Key Technology ⇒ Fast 3D Scanning within Tolerable Time for moving target

- A) TPS for Fast 3D scanning ⇒ ×5
- B) Extended Flattop Operation ⇒ ×2
- C) Fast Scanning Magnet ⇒ ×10

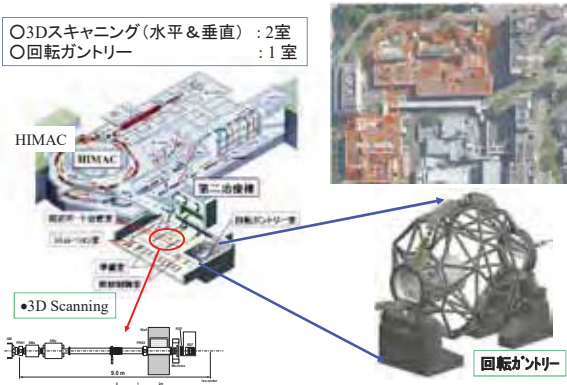


呼吸同期可能な3Dスキャンニング法の検証



新治療研究棟の建設構想

- 3Dスキャンニング(水平&垂直) : 2室
- 回転ガントリー : 1室



新治療研究棟の建設



Building facade with green curtain



Entrance hall (1F)



Waiting hall (B2F)



Treatment Room E (B2F)

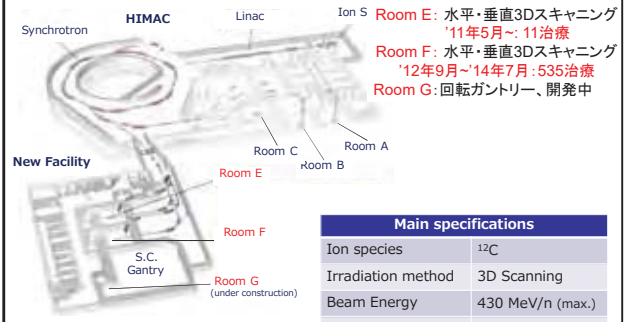
次世代照射システムの運用

患者一人当たりの占有時間: 従来型; 25分

患者一人当たりの占有時間: 自動位置決め&スキャンニング; 13分



新治療研究棟の運用状況

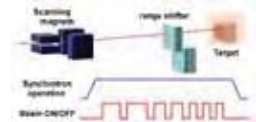


Main specifications	
Ion species	^{12}C
Irradiation method	3D Scanning
Beam Energy	430 MeV/n (max.)
Maximum Range	30cm in water
Maximum Field	22x22 cm ² (E, F)

ハイブリッドスキャンの開発

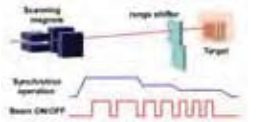
可変エネルギー運転の研究: 2006~

RSF scanning



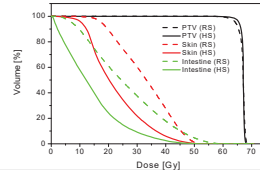
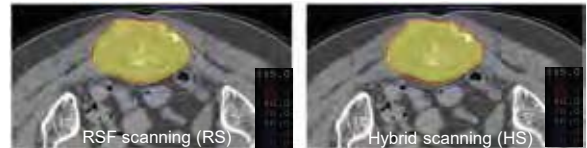
エネルギー可変化
 高速スライス交換
 ビームサイズの抑制
 2次中性子の抑制

Hybrid scanning



ハイブリッドスキャンの効果

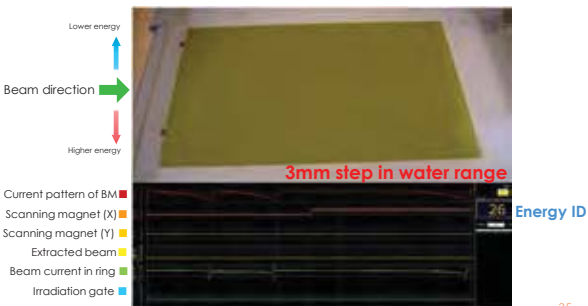
・スキャンニング治療計画システムに、ハイブリッドスキャンニング照射機能を導入し性能検証を実施した。本装置は9月より臨床で使用されている。



他方式と比べ、
 ・線量集中性の向上
 ・照射時間の短縮化
 ・フラグメント粒子の減少とRBEの向上
 ・短いコミッションング期間 (11energy)

T. Inaniwa et al., Medical Physics, 39, p.2820, 2012.

フルエネルギースキャンの開発



35

重粒子線がん治療研究の歴史

- ・ 1940年代ロバート・ウィルソン(米)による予言
- ・ 1970年代カリフォルニア大学で世界初の臨床試験
- ・ 1984年 放射線医学総合研究所でHIMAC建設計画の開始
- ・ 1994年 HIMACで炭素線を用いた臨床試験の開始
- ・ 2001年 兵庫県立粒子線医療センターに低エネルギー版を建設
- ・ 2003年 有効性と安全性が確認され高度先進医療として承認
- ・ 2004年 普及小型化研究開始
- ・ 2006年 次世代照射システムの開発研究開始
- ・ 2007年 群馬大で普及型実証機の建設開始
- ・ 2010年 群馬大普及実証機で治療開始
- ・ 2011年 放医研・新治療研究棟で次世代型治療開始
- ・ 2013年 Saga-HIMAT、治療開始
- ・ 2015年 3Dスキャンニング呼吸同期照射開始

3Dスキャン呼吸同期照射

Gating
+
Fast rescanning

Repeat scan to suppress hot/cold spot

3Dスキャン呼吸同期法による治療照射

超伝導炭素線回転ガントリー

2004年~

3Dスキャン + 回転ガントリー
 ・患者負担の軽減
 ・いっそうの高精度化

→ いっそうの短期治療

強度実測治療

最大磁場 : 1.8T
 重量 : 450t
 直径 : 14 m
 長さ : 15m

超伝導炭素線回転ガントリー

Max. field: ~3T

検証: 回転・振動試験

- モデル超伝導電磁石
- ±180度回転
- 超伝導状態での最大励磁

クエンチなし!

検証: 高速励磁試験

- フルエネルギースキンの模擬励磁試験
- 201step x 30ms~60s (430 ⇒ 56 MeV/u)
- クエンチなし
- 温度上昇の抑制 (4.0 K)

検証: 磁場測定



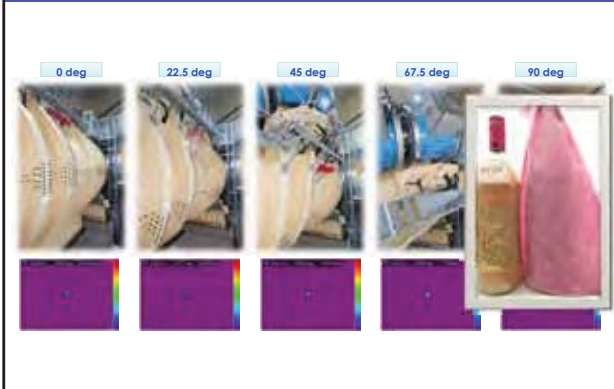
回転ガントリーの建設



ビームコミッションング

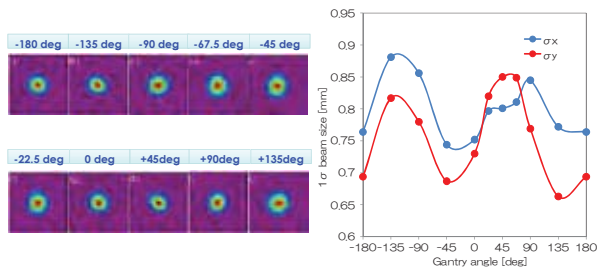


アイソセンターでのビームスポット



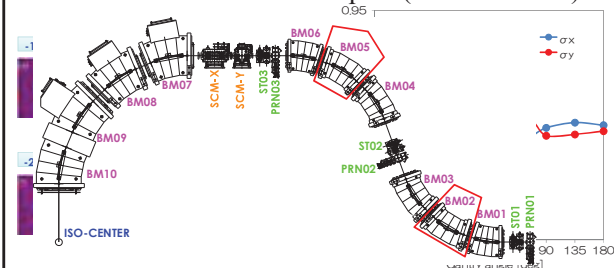
ビームスポットの角度依存性

Angular dependence of a beam size and shape at the isocenter ($E=430$ MeV/u)



ビームチューニング結果

The superconducting quadrupoles were tuned so as to obtain circular beam spots ($E=430$ MeV/u)



これまでの技術開発のながれ

HIMAC



- He~Ar
- 最大800MeV/n
- ワブラー法
- 呼吸同期照射
- 積層原体照射

普及実証器@群馬大



- C
- 最大400MeV/n
- 螺旋ワブラー法
- 呼吸同期照射
- 積層原体照射

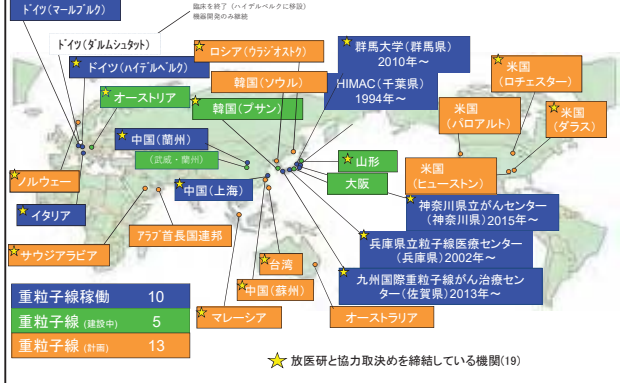
次世代照射システム



- C, O
- 最大430MeV/n
- 3Dスキニング法
- 呼吸同期照射
- 回転ガントリー

Advanced Facility

世界の重粒子線治療施設と導入計画の現状



Saga-HIMAT



去年
直
ぐ
直

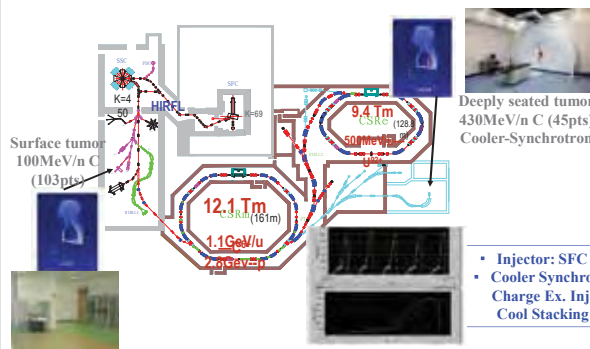
I-ROCK



2015年12月治療開始

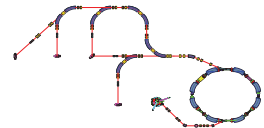
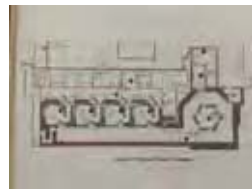
加速器: 群馬バージョン
エネルギー: 430 MeV/u
照射法: NIRS 3D scanning
治療室: 2*H&V, 2*H

IMP at Lanzhou, China



HITFiL project, China


Heavy Ion Therapy Facility in Lanzhou (HITFiL)



Four treatment rooms: H, H+V, V, O



HIT Facility



The Heidelberg Ion Therapy Centre

Based on GSI treatments of 400pts since '97, HIT was constructed and initiated carbon-ion RT.

- p, He, C, O:
Energy: 50-430 MeV
1 Gantry + 2 H
- ECR IS: 2
- 216MHz RFQ+IH: 7MeV/n
- Synchrotron(-60m)
Multiturn Injection
RF-KO extraction
- Variable Energy Operation
 - Variable FT (1-10s)
 - Variable Intensity
 - Variable Beam Size

Siemens Facility

Shanghai





Marburg

CNAO Facility



Synchrotron for light ions ($z \leq 6$)
Active scanning
Range $\approx 27 \text{ g/cm}^2$

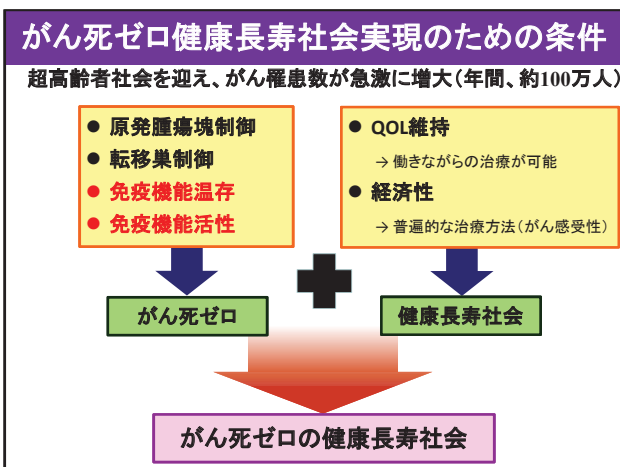
3 treatment rooms Space for 2 gantries

Injector: GSI design
- Synchrotron: PIMMS design

- p, He, C, O:
Energy: p 7-250 MeV
C 7-400 MeV/n
2 H + H&V
- ECR IS: 2
- 216MHz RFQ+IH: 7MeV/n
- Synchrotron(-78m)
Multiturn Injection
Acc Driven extraction
RF-KO extraction
- Active scan

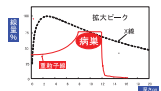
将来の粒子線がん治療

がん死ゼロを目指して
QSTの取り組み



重粒子線の優位点


- 線量の集中性



...正常組織の損傷が少ない
→ QOLを左右する

光子線	X
陽子線	△
重粒子線	O

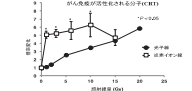
- 強い生物効果



...DNAへの直接作用
→ 腫瘍塊制御や感受性

光子線	X
陽子線	X
重粒子線	O

- 免疫温存・活性化作用



...免疫活性化分子の増加
→ 免疫温存・活性化

光子線	△
陽子線	△
重粒子線	△

↓

副作用が少なく、がんの種類によらない効果、
免疫機能を温存するとともに、活性化する可能性もある、
がん死ゼロ健康長寿社会実現の必須6条件の4条件を満足

量子メス開発プロジェクト

- 回転ガントリーとスキャンニング照射法の開発により、重粒子線を精度良く様々な方向から照射できる強度変調照射(IMIT)が実用化。→より複雑な線量分布の形成が可能となった。
- 加えて、生物学的効果(RBE)の異なる複数のイオンをIMIT法を利用して照射すること(マルチイオン照射)により、RBE分布の制御が可能
 - より高い治療効果 → 超短期治療(日帰り治療)
- さらに、QSTの有するレーザー加速技術、超伝導技術を駆使して、重粒子線がん治療装置の超小型化
 - 海外も含めた普及展開

高効果治療照射 + 超小型化 = 量子メス

マルチイオン照射

✓ **マルチイオン**(He, N, C, O 等)照射により、生物学的効果を制御が可能となり、がん全体に強い照射が可能となる。

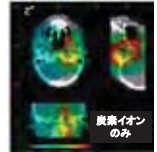
→ 中心部分にある放射線抵抗性がんに対する治療効果の一層向上が期待される。

→ 超短期治療(日帰り1回治療)の実現性が高まる。

● 右図上は炭素イオンのみを照射した時の生物学的効果の強度分布を示しているが、がん領域(黄色の線で囲まれた領域)の内部よりも、周辺部のほうが高くなっている。(青→緑→黄→赤の順に高い)

● 右図下はがん領域の中心部を酸素(O)で、その周辺を炭素(C)、ヘリウム(He)で照射した際の強度分布を表しており、がん領域で一様に高くなっていることがわかる。

がんに対して与えられた生物学的効果の強度分布



下図では、がん領域(黄色線)内の生物学的効果が一様に高い

62

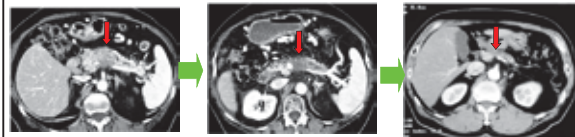
切除不能膵癌の炭素線治療成績

著者	年	n	治療法	線量	生存率	
					1年	2年
ECOG	2008	34	GEM+RT	50.4Gy	50%	12%
		37	GEM	-	32%	4%
Ishii	2010	50	GEM	-	64%	14%
Sudo	2011	34	S-1+RT	50.4Gy	71%	25%
Schellenberg	2011	26	GEM+RT	25Gy/1fr	50%	20%
NIRS	2014	52	GEM+CIRT	45.6-55.2GyE	77%	48%

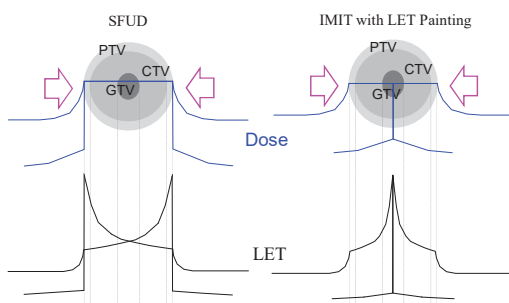
GEM: 抗がん剤、RT: X線治療、CIRT: 炭素線治療

処方線量を上げると成績が向上するかも

切除不能膵がんの治療例

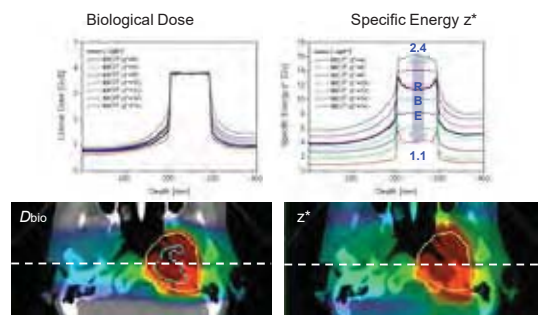


RBEの制御(LETペインティング)



N. Bassler et al., Acta oncologica. 49, 1170 (2010)

RBEの制御: マルチイオン照射



T. Inaniwa et al., Med. Phys. to be submitted.

QSTが目指す「がん死ゼロ」健康長寿社会

次世代重粒子線治療 (量子メス)

固形がん(原発腫瘍塊)

免疫系 → 賦活化効果

- 副作用が少ない
- 高いQOL維持
- がんの種類を選ばない
- 免疫機能温存

- 分子標的治療
微小転移がんをピンポイントに治療
- 標的アイソトープ治療
治療抵抗性の多発転移巣にも高い治療効果を期待

転移巣

分子標的治療
α線

標的アイソトープ治療

ブレーキ阻止 or アクセル増強

- 免疫制御治療併用
ブレーキの抑制(免疫チェックポイント療法)やアクセル増強等によりがん免疫を賦活化する

がん死ゼロを目指す

量子メス開発プロジェクト

第1世代

1994年放医研
120x65m, 320億円

第2・3世代

2010年群馬大学
60x45m, 140億円 (1/3)

第4世代装置
より小型化
45x34m (1/6程度)

第5世代量子メス
さらなる小型化
10x20m (1/40程度)
& 高性能化

- 装置が巨大で高額(専用建屋建設、運用費)
→費用と大きさを約1/3に出来たがまだまだ高い!
- 現時点では腫瘍塊の完全除去は完璧ではない
→さらなる高性能化が必要

68

超伝導技術によるシンクロトロン的小型化

・エネルギーロスが少ない超伝導技術により、大電流を流し、電磁石の磁場を高くできる
⇒炭素線の曲率半径の縮小による、電磁石の小型化が可能
⇒電磁石が装置の大半を占めているシンクロトロンの大幅な小型化が可能

核融合における超伝導コイル技術の導入

通常の炭素線電磁石 (1.5T)

超伝導電磁石 (4T)

普及型重粒子線施設

シンクロトロン的大幅な小型化 (<8m)

69

レーザー加速技術による入射器の小型化

レーザー駆動イオン加速

電荷分離で発生した加速電界によりターゲット表面から引き出され加速されたイオンの流れ

高エネルギー電子がターゲット表面から離脱しようとするにより強力な電荷分離状態の発生 → 従来の1/1000以下の長さで加速

QSTでは43MeVの陽子線加速に成功。数イオンはほぼ完全電離状態で核子あたり16 MeVまで加速

普及型重粒子線施設

入射器的大幅な小型化 (<5m)

70

加速効率の大幅向上により、将来はオールレーザータイプの量子メスが実現できれば破格的インベーションも起こせる。

量子メス: 超小型量子線がん治療装置

小型化(既存の病院建屋に設置可能)

高性能化(全てのがんで1回照射が可能)

量子メス

超小型スキャニングガントリー

~10m

レーザー入射器

超伝導電磁石

~20m

第五世代(量子メス) パーレーボールコート

講義資料 (2日目)

①放射線について知ろう

国立大学法人 筑波大学
医学医療系 医学物理学

榮 武二

②放射線の医学利用

国立大学法人 筑波大学 医学医療系
放射線健康リスク科学

磯辺 智範

③放射線災害医療

—あなたならどうする？放射性物質が突然環
境に拡散したとき—

公立大学法人 福島県立医科大学
医学部 (臨床医学系)

放射線災害医療学講座 主任 長谷川 有史

④切らずになおすがん治療

国立大学法人 筑波大学
医学医療系 放射線腫瘍学

櫻井 英幸

～最先端技術にふれる～
平成29年度放射線医学オープンスクール

Medical × *Engineering*



筑波大学附属病院
University of Tsukuba Hospital



HITACHI
Inspire the Next



日程

平成29年8月29日（火）～30日（水）

場所

株式会社日立製作所ヘルスケアビジネスユニット
日立高精度放射線治療研修センター

筑波大学附属病院



公益財団法人 医用原子力技術研究振興財団
ASSOCIATION FOR NUCLEAR TECHNOLOGY IN MEDICINE

医師のキャリアパスを考える医学生の会



課題解決型高度医療人材養成プログラム
放射線災害の全時相に対応できる人材養成

～2日目～

【見学先】

筑波大学附属病院

(所在地) 茨城県つくば市天久保2-1-1



プログラム

9:30 ～ 9:40 開会挨拶・プログラム説明

9:40 ～ 10:30 放射線について知ろう

国立大学法人 筑波大学
医学医療系 医学物理学
榮 武二 教授



10:40 ～ 11:40 放射線の医学利用

国立大学法人 筑波大学
医学医療系 放射線健康リスク科学
磯辺 智範 教授



11:50 ～ 13:20 施設見学（陽子線治療）・昼食

13:20 ～ 14:20 放射線災害医療

—あなたならどうする？

放射性物質が突然環境に拡散したとき—

公立大学法人 福島県立医科大学
医学部（臨床医学系）放射線災害医療学講座 主任
長谷川 有史 教授



14:30 ～ 15:30 切らずに治すがん治療

国立大学法人 筑波大学
医学医療系 放射線腫瘍学
櫻井 英幸 教授



15:45 ～ 16:30 見学（ロボットスーツハル）

16:30 ～ 17:00 終了式

放射線について知ろう

放射線の可視化について (特に環境放射線)

榮 武二
筑波大学

概要

- 放射線が見えたら景色はどういう感じか
- 可視化の関連分野(画像化を含め広義)
- 放射線の性質
- 宇宙線の種類と量
- 環境 γ 線の量、人からの γ 線の量
- ピッカリ君
- 芸術表現としての放射線
- 地表からの放射線(乳母車の状況)
- 霧箱
- ピンホールカメラ
- コンプトンカメラ

放射線の可視化、関連分野

透過から密度情報を画像化するもの(診断、非破壊検査、等)を除く
原則フィルム系、飛跡記録を除く

- 初期の放射線観測 **可視化**
- 核物理、高エネルギー物理 **飛跡検出**
- 診断、正確には核医学 **画像化**
- 放射線治療
- 芸術 **光による表現**
- 環境放射線(スパークチェンバ、霧箱) **可視化**
- 事故処理(γ カメラ、コンプトンカメラ、GPSドローン) **写真、マッピング**

物理実験における 放射線の可視化



新発見の放射線(1911年)は、半導体検出器の発明によって、可視化される。この可視化は、放射線の可視化の重要なステップである。

Wikipedia: 泡箱



Wikipedia:
KEKベル実験

スーパーカミオカンデ: ホームページより

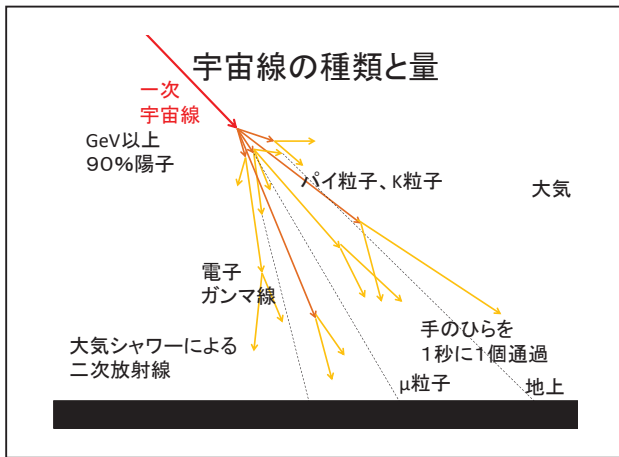


放射線の性質

- (1) 通常的环境中にも存在する
自然放射線(ラドン温泉)、宇宙放射線(ミュー粒子)
- (2) **見えない、五感で感じられない**
- (3) 透過する(内部に到達する) → 診断
- (4) エネルギーを与える。変化を起こす
細胞内に傷を作る→生物学的な影響を与える
物質内に傷を作る→機械的特性を変える。色を変える
- (5) 人間の体に影響を与える。
防護の問題 ⇔ 治療への利用

放射線はどこから出るか

- 放射線発生装置・加速器から
X線の発見: 放電管、レントゲンの実験
- 放射性物質から
キュリー夫人: ラジウム
環境放射能: ラドン・トロン
- 宇宙から
ミュー粒子

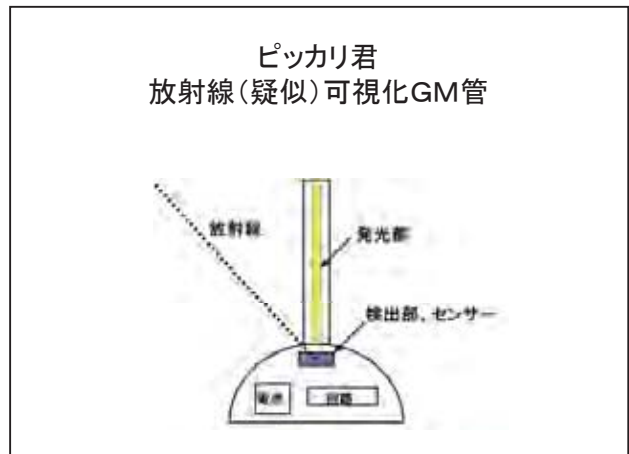
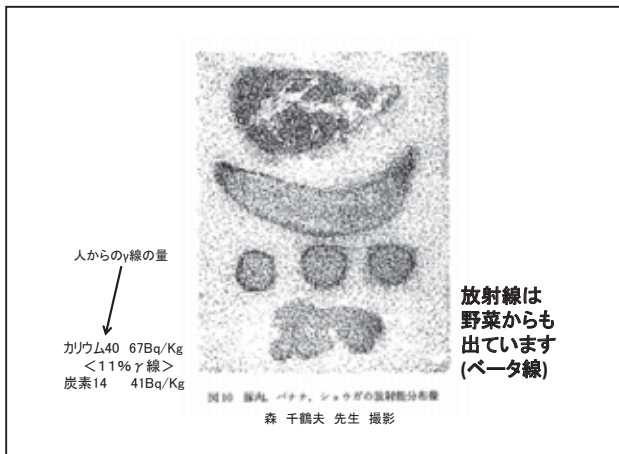


環境中の放射線の発生源

- 宇宙線
- 宇宙線生成核種 炭素14, トリチウム
- 長半減期核種 カリウム40, ウラン, トリウム

宇宙から、μ粒子、ベータ線
壁からガンマ線
空気からα線、ベータ線
土からガンマ線
人体内でベータ線、α線
人体からガンマ線

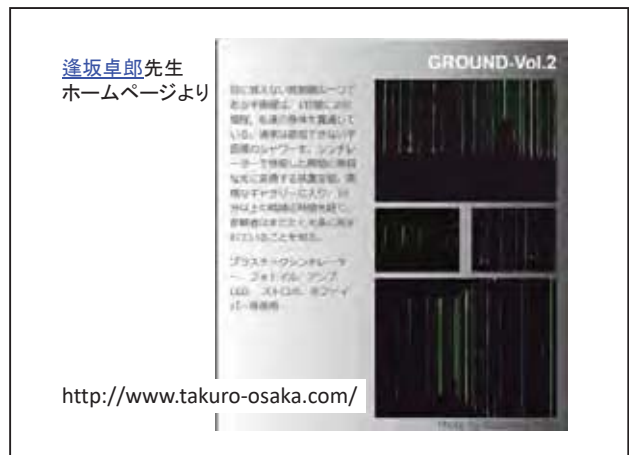
プラス: 人工的に作られた発生源



放射線を検出して 照明を変化させる表現方法

逢坂 卓郎先生
ライトアートスタジオ「STUDIO PHOTON」主幹
筑波大学人間科学総合研究科 教授

1995から不可視の宇宙線を探知し目に見える光に還元した作品をシリーズとして発表。同時に太陽の光を使った作品にも取り組む。特に、月光を使ったLuna Project(妻有アートトリエンナーレ2000)は注目を浴びる。2001より宇宙空間に於ける芸術の可能性についてNASAと共同研究を行う。無重力実験フライトを2回行い、光と生理、流体と音波による新しいアートの提案を行う。現在、ライトアートの草分け的な存在として美術館にとどまらず、建築やディスプレイの空間で活躍する。新東京国際空港など、パブリックアートの設置も多い。



逢坂卓郎先生
ホームページより



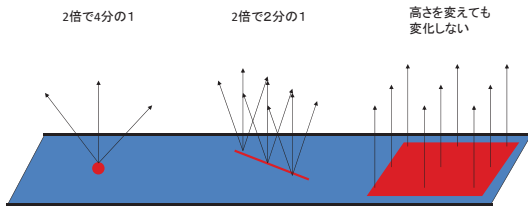
<http://www.takuro-osaka.com/>

基本事項

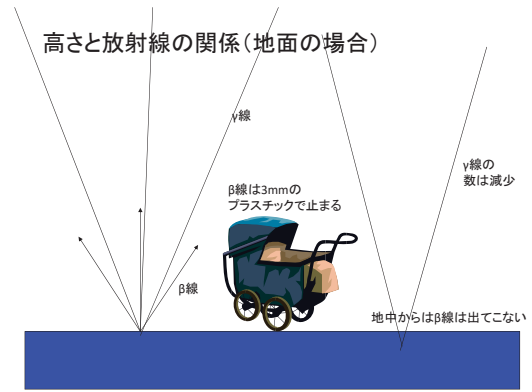
- 半減期の長いものだけが残っている
- Cs:β線とγ線が出ている
- 水を含んだ土の密度1.8g/cm³

		最大飛程空气中	水中
Cs137 30y	β0.514MeV 94%	135cm	1.6mm
	β1.176MeV 6%	419cm	5mm
Cs134 2.1y	β0.089MeV 27%	12cm	0.1mm
	β0.415MeV 3%	100cm	1.2mm
	β0.658MeV 70%	190cm	2.3mm
	半分100m以上	1m高さでの変換係数	
Cs137	γ0.662MeV 85%	2.1μSv/h / MBq/m ²	
Cs134	γ0.605MeV 98%		
	γ0.796MeV 86%	5.4μSv/h / MBq/m ²	
Cs 40000Bq/m ² → 0.3μSv/h			

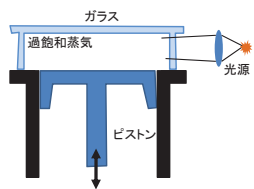
地面に放射性物質がある場合
高さにより放射線の数はどう変わるか



高さとの放射線の関係(地面の場合)



ウィルソンの霧箱(1897年イギリス)

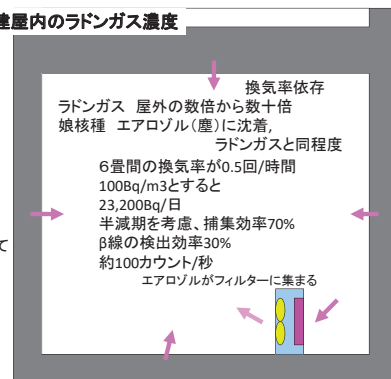


飽和水蒸気を、減圧により過飽和にする。
飛跡にそって雲ができる。
→アルコールとドライアイスを使う簡易型
→泡箱型飛跡検出器(液体の気化)
→放電管型飛跡検出器

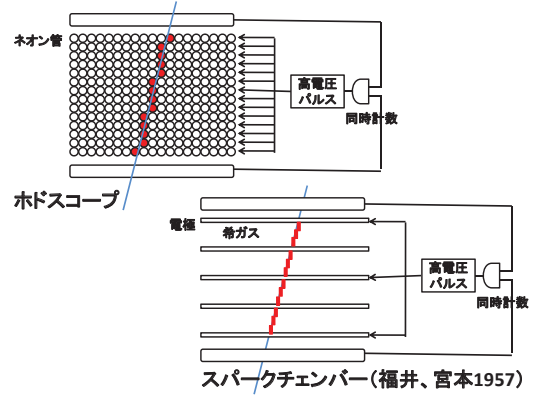
コンクリート建屋内のラドンガス濃度

屋外ラドン
高さ依存
数Bq/m³~
数10Bq/m³

娘核種:
放射線を出して
出来た核種
238U→...
226Ra→222Rn
→娘核種
→娘核種



霧箱の動画
名古屋大学
YOUTUBEより

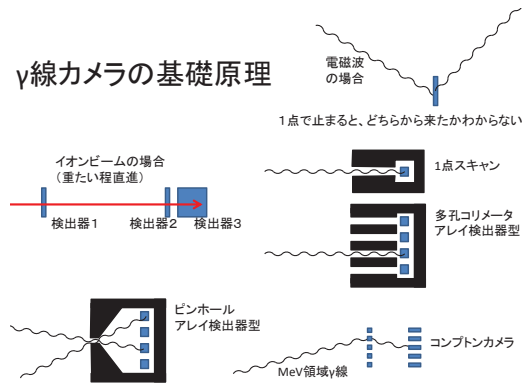


宇宙線が無数に飛来し、自分の手を通り抜ける体験を通じて宇宙線に対する理解を深めるお役に立ててください。



スパークチェンバーの動画
ケンブリッジ大学
YOUTUBEより

γ線カメラの基礎原理



電子飛跡検出型コンプトンカメラでの
ガンマ線イメージング 京大 谷森研究室

千代田テクノロ
浜松ホトニクス
早稲田大学

ガンマ キャッチャー

特徴
非常に簡単にコンパクトに放射線計測が
出来ます。



ガンマキャッチャーの原理

原理
ガンマキャッチャーは、鉛とNaI結晶と検出器
体による放射線検出器として、検出器が放射線に
反応するNaI結晶が放射線を検出し、
検出器が検出した放射線の強度を出力すること
です。
上記方式による検出器が不安定なため、特
に「コンパクトなガンマキャッチャー」
が実現しているのは画期的なことです。

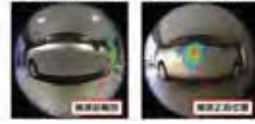
●事例紹介1：線源を用いた社内試験
車両にセンサーを設置を取り付け、放射線計測の
精度が安定かを試験した。社内試験の結果、
1.5Mcpの放射線センサー検出は、おおよそ30
分以内で特定可能である。

ガンマ キャッチャー


●事例紹介2：フィールドにおけるサッカース
ボールの探索
福島県内でのフィールド試験の結果、短時間
でのフィールドの探索作業が可能である。



測定時間：800min 検出器：NaI 1000g 距離：約10km



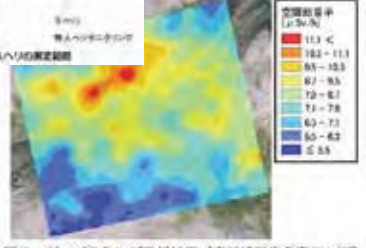
●事例紹介2：フィールドにおけるサッカース
ボールの探索
福島県内でのフィールド試験の結果、短時間
でのフィールドの探索作業が可能である。



測定時間：170min 検出器：約50g NaI 放射線計測器：MaSiC



コンプトンカメラ
日本原子力研究開発機構
古河機械金属株式会社
東京大学
東北大学
JST



コンプトンカメラ
JAXA, 名古屋大学, JST, 三菱重工
放射線物質見える化カメラ

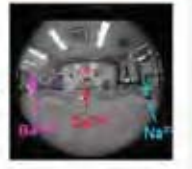



図9 3種類の放射性物質を同時に測定した結果

日立ガンマカメラ
JST, 日立

東芝ガンマカメラ

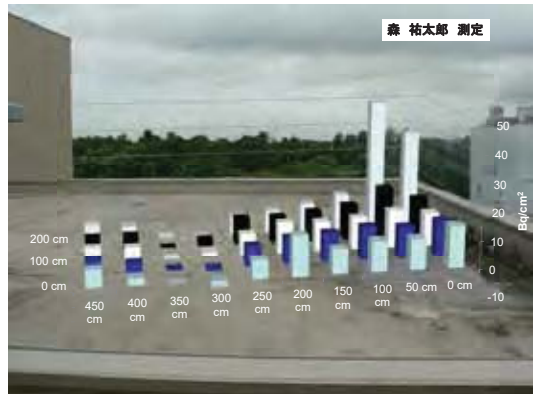


日立ガンマカメラ

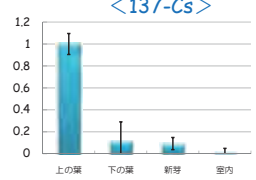
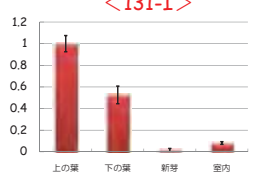
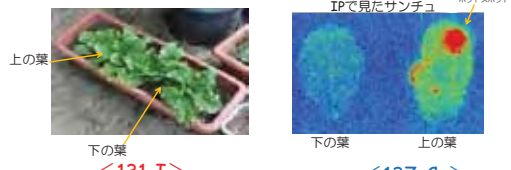


東芝ガンマカメラの外観



サンチュ-上の葉と下の葉の違い



放射線の医学利用

筑波大学医学医療系
磯辺智範



(tiso@md.tsukuba.ac.jp)

ちょっと復習!

放射線って何?

*本にはこう書いてあります

“高速で動く粒子” および “波長が短い電磁波”
・原子核が壊れる時などに出てくる “高速の粒子” や エネルギーを持った “電磁波”

加速! (エネルギーを与える)

取り出し

粒子を加速させる装置

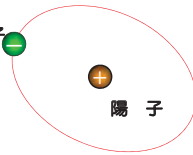


リニアック



シンクロトロン

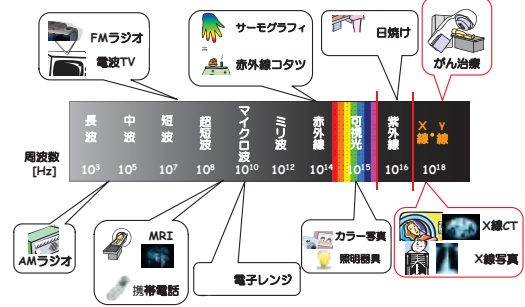
電子



陽子

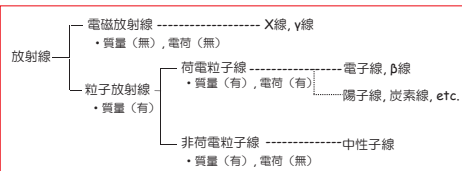
水素原子

(電磁波)

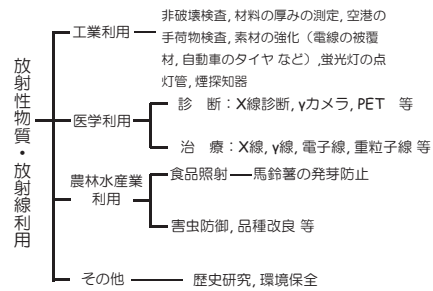


放射線とは、高いエネルギーを持つ、粒子・電磁波

分類



様々な分野での放射線利用



非破壊検査

放射線
金属の板
検出器
キズを抽出!

空港の手荷物検査

素材強化

分子
放射線を当てる
結合が強くなる

熱に強いケーブル
強化型ゴムタイヤ
発泡プラスチック製品

滅菌

注射器等
DNAに対する電離作用を用いて滅菌することが可能。

注射器
メス
ガーゼ

放射線での滅菌は、変性が少なく、薬剤付着の恐れもない

じゃがいもの発芽防止

じゃがいもの生産：秋頃は多い
でも……

発芽を防止するには、
薬品を使う方法が一般的
→じゃがいもの中に薬品が残留するおそれ

そこで放射線を照射すると……
じゃがいもの発芽を防止できる!

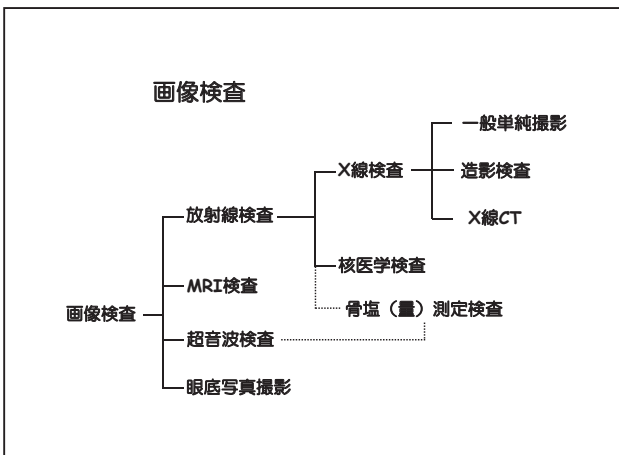
じゃがいもが
じゃがいも
(北海道土壌農業協同組合照射センター)

世界保健機関（WHO）は10000 Gy以上の高線量照射食品についても健全性に問題がないと宣言
2001年の時点では52カ国がなんらかの照射食品を許可しており、許可品目は100品目以上に達している。
日本ではジャガイモの発芽抑制が実用化されている。

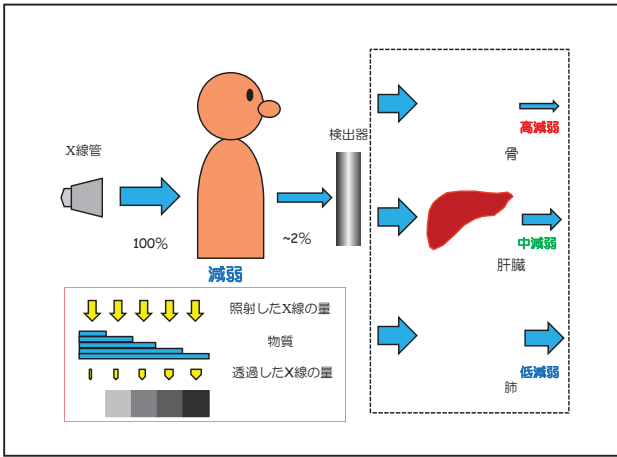
放射線の医学利用

画像検査

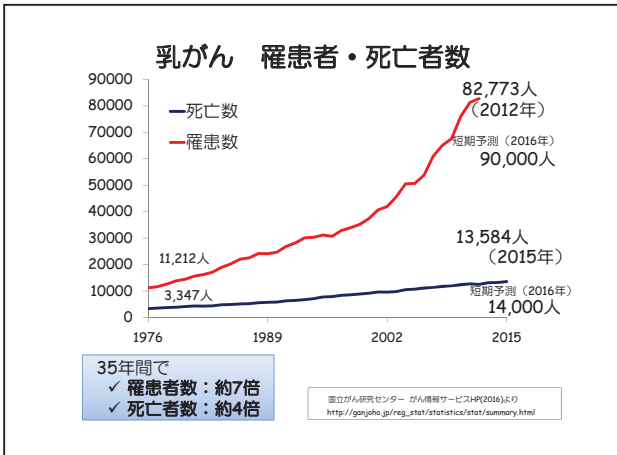
放射線治療



一般単純撮影



乳房撮影

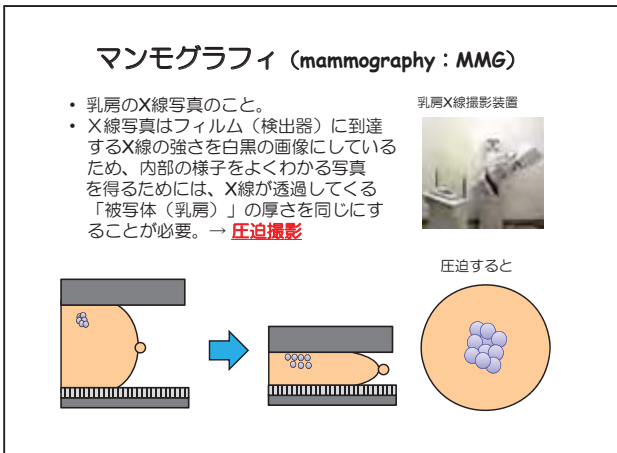


乳癌検診の拡大

- 乳癌の罹患率は増加傾向 → 早期発見の要望
- 日本における乳癌検診
 - 従来は「触診による1次検診」が主体
 - 2003年、厚生労働省から「乳癌検診にマンモグラフィを推奨する」との方針が打ち出された

↓

全国的にマンモグラフィを導入した乳癌検診が拡大



<脂肪性の乳房> <脂肪が少ない乳房>

・ 画像 (かなりおおざっぱに)
 ✓ 乳腺: 白
 ✓ 脂肪: 黒
 ✓ 乳癌: 白

・ 乳腺組織の量
 ✓ 年齢によって大きく異なる。
 ✓ 思春期から増加し、**妊娠期から授乳期に最も多く**、乳房のほとんどを占める。そして授乳期が終わると萎縮していく。

X線では金属の中は観察できない!

XRでは歯のかぶせ物(金属)により歯冠部内が見えない---

XRでは見えない金属内の歯冠部形状が観察できる!

引用: 中性子イメージング技術の基礎と応用 応用編 第10回, RABIOISOTOPE5, 56, 2007

中性子を少し勉強しよう!

中性子の分類は文献ごとでバラバラ---

物質との相互作用はエネルギーに大きく依存
 → エネルギー(速度)によって3つに分類
 (原子炉物理学分野で一般的)

冷中性子	0.001 eV以下	
(遅い) 熱中性子	0.025 eV 上限: 0.5 eV	低速中性子
(中間) 熱外中性子	$0.5 \text{ eV} \leq E_n < 100 \text{ keV}$	速中性子
(速い) 高速中性子	$E_n \geq 100 \text{ keV}$	BNCTでは10 keV

呼称や区分するエネルギーは分野によって異なる。

核分裂で発生した高いエネルギーを持つ中性子(高速)
 → 物質と反応(散乱)を起こして減速(中速)
 → 最後には周囲の物質と熱平衡状態になる(熱中性子)

ここでは、

熱中性子	0.025 eV	上限: 0.5 eV
中速中性子 (熱外中性子)	$0.5 \text{ eV} \leq E_n < 100 \text{ keV}$	
高速中性子	$E_n \geq 100 \text{ keV}$	

厳密に考えるには適さないかもしれないが、ざっくりした理解には役立つかと-----。

中性子が物質にあると何が起こる?

以下に示す複数の反応過程がある

1. 弾性散乱
2. 非弾性散乱
3. 中性子捕獲反応(荷電粒子放出反応)
4. 原子核分裂

弾性散乱 -中性子のビリヤード-

中性子が原子核に衝突して弾き飛ばされる
(エネルギーの一部を、相手(反跳原子核)の運動エネルギーとして減速)

イメージは**ビリヤード** 弾き飛ばされる!

- 相手が大きすぎると・・・
- 進み続ける! 相手が小さすぎると・・・
- 同じ大きさで **STOP!**

⇒ **中性子は水(コンクリート)で止まりやすい!**

(透過作用)

α線
β線
X線, γ線
中性子線

水やコンクリート

薄いアルミニウム箔
厚い鉛

入射中性子のエネルギー
 $E = E_0 \frac{4A}{(A+1)^2}$
反跳原子核のエネルギー
変数A: 質量

水素より大きい元素にぶつかった場合を直感的に---

中性子をピンポン玉(2.7g)に例えれば
O-16はゴルフボールの重さとなる。
45.9g (約16倍)

中性子とH-1の弾性散乱
止まる!

中性子とO-16の弾性散乱
反発!

ゴルフボールが若干動くことから、少ないながらも中性子は標的核へエネルギーを授受している。

水分計

(基礎知識) 中性子の弾性散乱

- (水素との弾性散乱) 効果的にエネルギーを落とす!
- (その他の原子との弾性散乱) エネルギーはほとんど変わらない

検出器 (^3He)
 $^{241}\text{Am-Be}$
制御部

水分
中性子水分計の原理 (注: 重量検査(核)HPより)

高速中性子 (2~3MeV)
熱中性子 (数+eV)

中性子の水素原子に対する選択作用を利用
熱中性子を検出し、水分を測定

中性子ラジオグラフィに戻ると-----

原理はX線イメージングと一緒に!

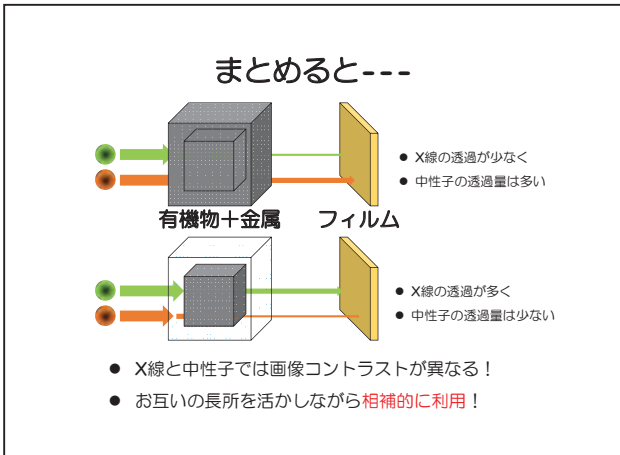
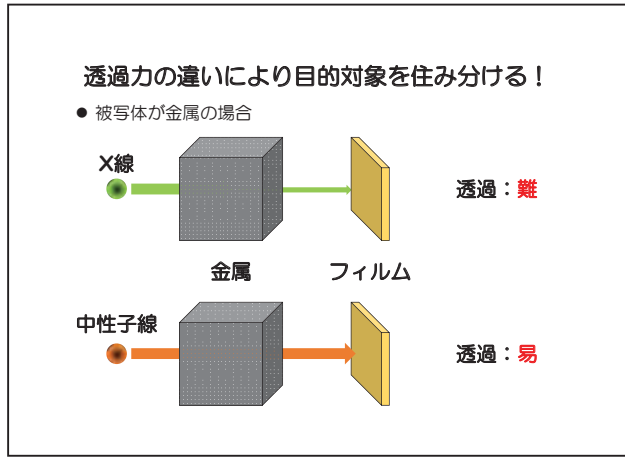
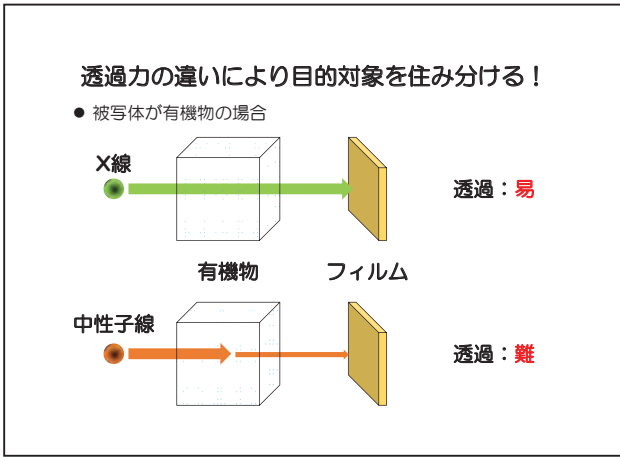
- 基本構成は、線源として中性子発生源、コリメータ、被写体、検出器から成る。

中性子発生源
コリメータ
被写体
検出器
検出器部分に工夫が!

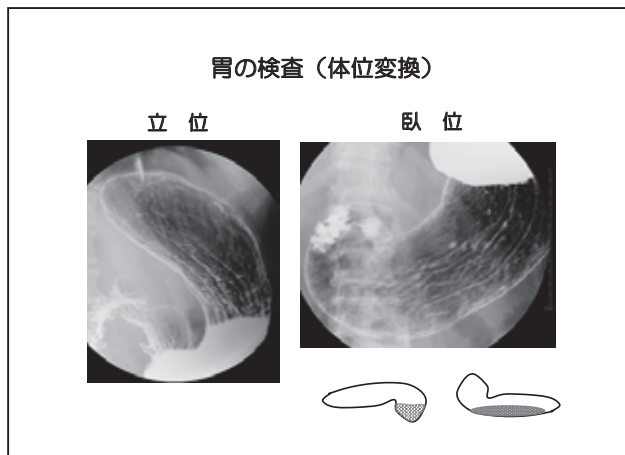
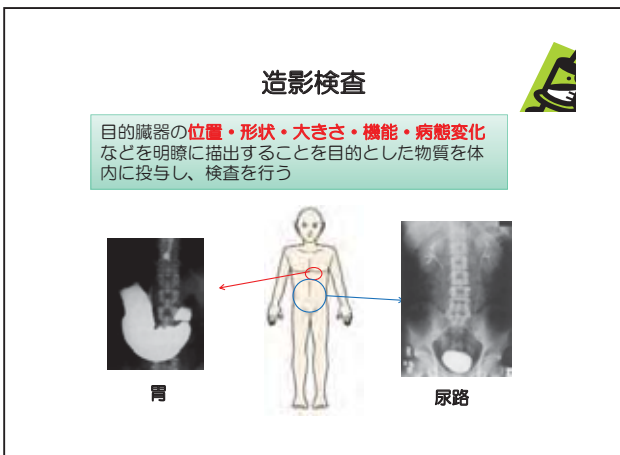
(直接法) カセット 被写体 フィルム (IP)
中性子 → コンバータ (Gd) → 検出

(間接法) カセット 被写体 放射化 フィルム (IP)
中性子 → コンバータ (By) → 放射化 → 検出


- フィルムとコンバータ (Gd) のセットに中性子を照射し、コンバータからの(n,γ)で得られるγ線をフィルムで検出
- コンバータ (By: ジスプロチウム) に中性子を照射し、放射化したコンバータからγ線をフィルムへ転写して検出



造影検査



血管を写し出すには？




1. 消毒
2. 局所麻酔
3. 穿刺
4. シース挿入
5. カテーテル挿入
6. 検査を進める

カテーテル

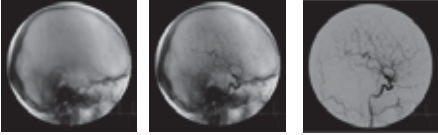
検査風景

テルモ株式会社 提供資料

DSA (digital subtraction angiography)



造影前像(マスク像) 造影像(コントラスト像) サブトラクション像

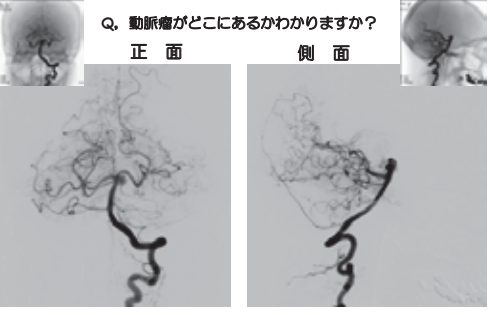


→ 画像の減算により血管像を作成

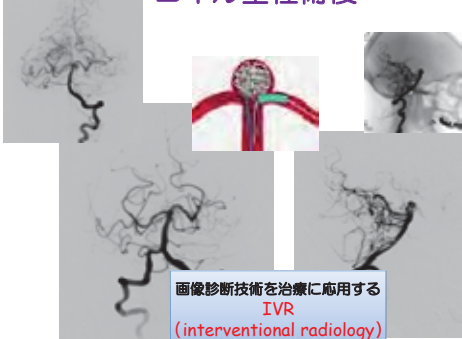
脳底動脈瘤の治療

Q. 動脈瘤がどこにあるかわかりますか？

正面 側面



コイル塞栓術後




画像診断技術を治療に応用する
IVR
(interventional radiology)

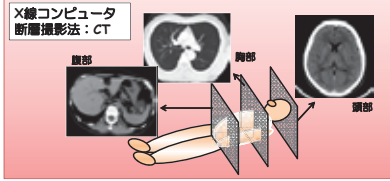
X線CT

X線CT

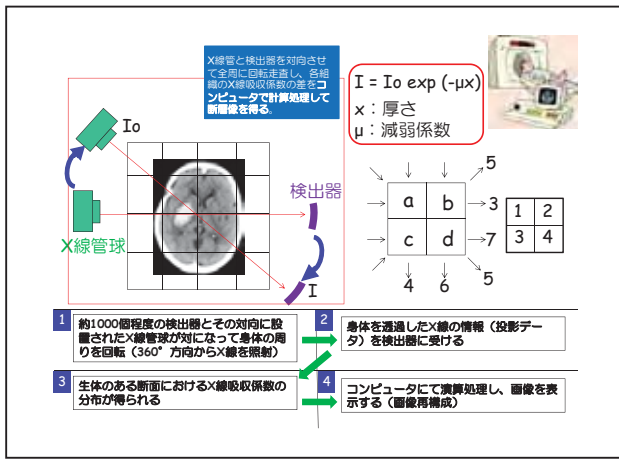
X線CT装置の中心にある大きな穴に体を入れて、体の周りにX線をあて、体の中の電子を主に輪切り(横断面)の画像で観測する



X線コンピュータ断層撮影法：CT



腹部 胸部 頭部

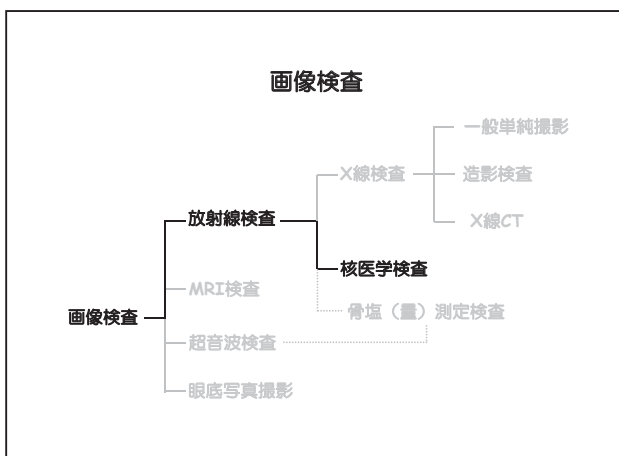
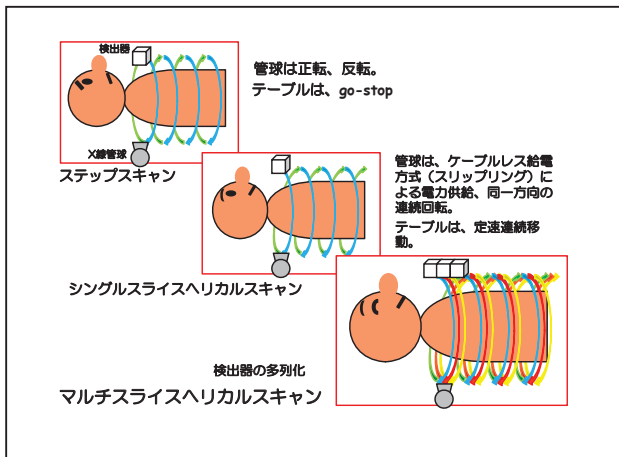


CT値

・CT値：X線吸収の度合い（CTを開発したHounsfieldの名前からHounsfield unit：HUとも呼ばれる）

$$CT値 = \frac{\mu(\text{対象物}) - \mu(\text{水})}{\mu(\text{水})} \times 1000$$

・μとはX線吸収の度合い（X線減弱係数）である。
・水のCT値を0、空気のCT値を-1000と定義、各組織のCT値はこれらに対する比率で表す。



核医学（Nuclear Medicine）とは

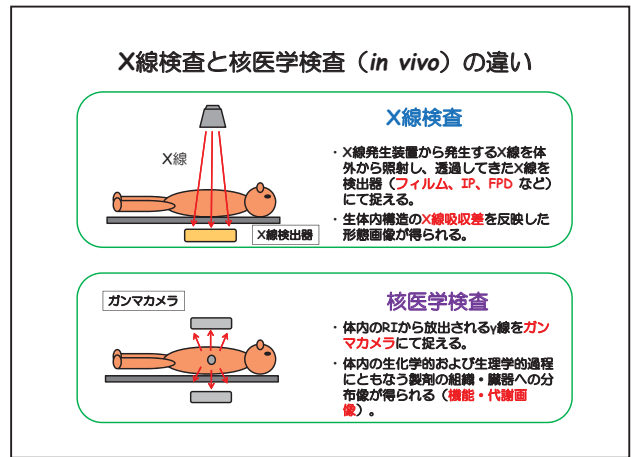
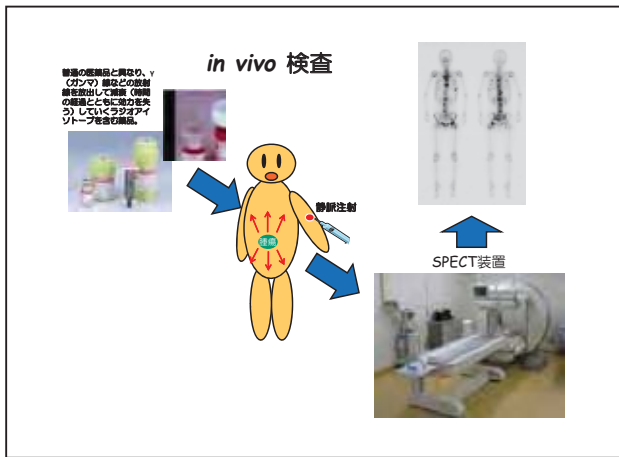
放射性同位元素（radioisotope：RI）やその化合物の生体内や試験管内の挙動を追跡し、診断、治療を行う医学分野である。

核医学の分類

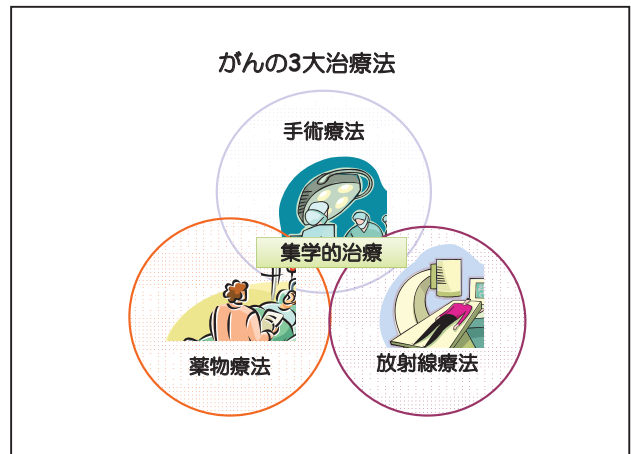
in vitro（試験管内）
血液や尿などからホルモンなど微量物質を測定

in vivo（体内）
非密封RIを体内に注射し、各種臓器の機能や動態の計測を行う

治療
甲状腺機能亢進や甲状腺がんの治療など



がん治療にも一役！



- 日本は被ばく国であり、放射線治療が遅れていた
- 一昔前までは、手術不応の末期がんの症状を緩和するために使うのが主であった

最近では---

- 高齢者、合併症のある患者にも対応できる
- 体のどの部位でも狙い打ちできる
- 機能、形態を残せる → **患者のQOLの向上**

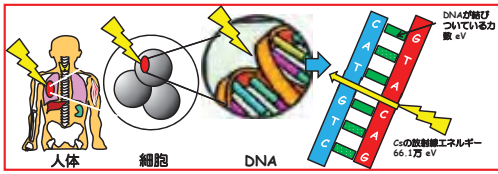
最も重要なポイント

一時しのぎの治療ではない！

がんを完全に治すことから、症状を取り除くことまで、幅広い目的で使用される！

放射線の何が効いているの？

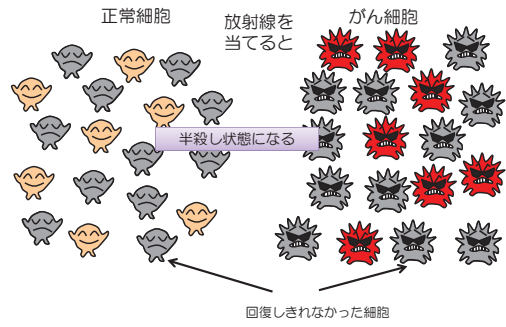
細胞内のDNAが標的!



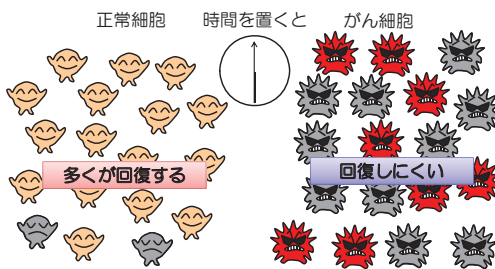
↓
ということは

がん以外の正常細胞も同じ様に傷ついているのでは?

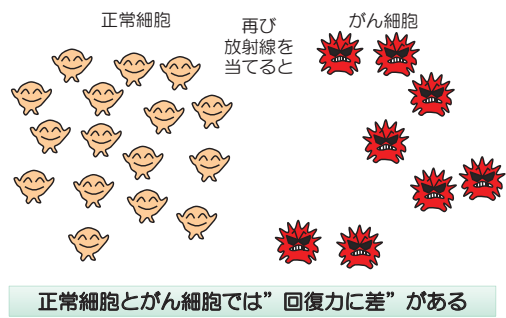
がん細胞と正常細胞の違い



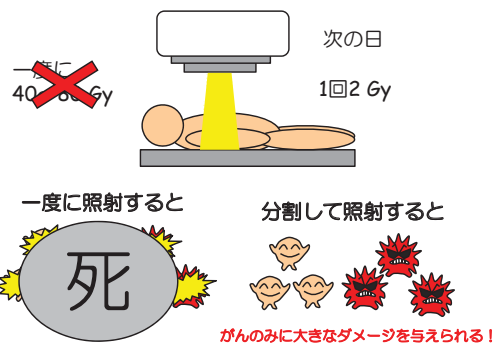
がん細胞と正常細胞の違い



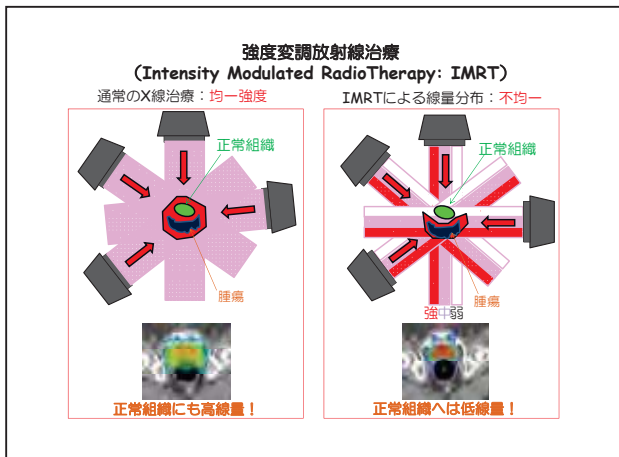
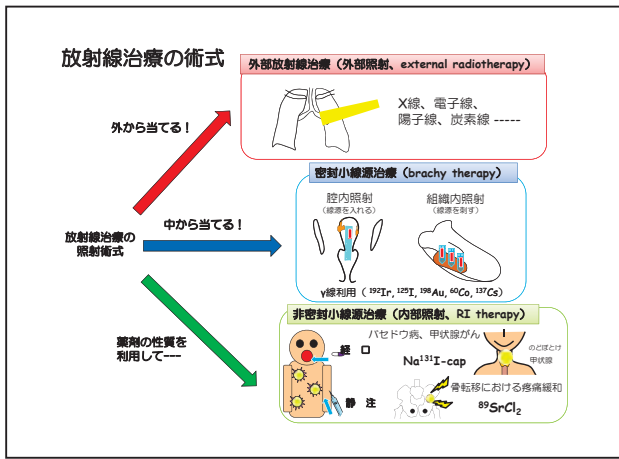
がん細胞と正常細胞の違い



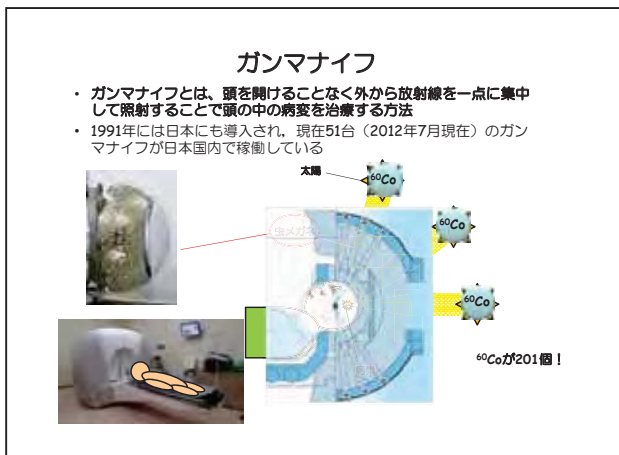
まとめると



どんな方法でがん放射線を照射するの?



ピンポイントで-----。

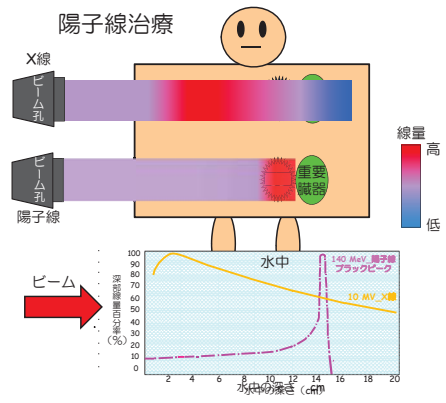


筑波大学ではこんなことも！



小児がんの
陽子線治療が
保険適用で
はじまりました

陽子線治療



筑波大学附属病院陽子線医学利用研究センター
Proton Medical Research Center (PMRC)



詳細は施設見学と櫻井先生の講義をお楽しみに！

End of Slide



放射線災害医療

-あなたならどうする: 放射性物質が突然環境に拡散したとき-

長谷川 有史

福島県立医科大学 放射線災害医療学講座 教授
放射線災害医療センター、救急医療学講座、救命救急センター



2017年8月30日 13:20-14:20

放射線医学オープンスクール 於 筑波大学附属病院



©2017 Arifumi HASEGAWA FMU

内容

1. 経験と反省
2. 問題の本質とその理由
3. 進化・順応と健康

内容

1. 経験と反省
2. 問題の本質とその理由
3. 進化・順応と健康

©2017 Arifumi HASEGAWA FMU

人間の性

- 無知 ignorance
- 無関心 indifference
- 利己心 selfishness
- 想像力の欠如 lack of imagination

私たちに足りなかったのは

- 「意識」
(原子力問題を)他人事ではなく自分自身の問題ととらえる「意識」
- 「関心」
(原子力に限らず)身近な社会問題・過去の歴史への「関心」

©2016 Arifumi HASEGAWA FMU

人間を社会から隔絶する4因子 Jean Pictet

福島事故による健康影響と放射線

放射線による影響

放射線防護の代償

放射線の直接影響	放射線の間接影響
<ul style="list-style-type: none"> • 確定的影響はなし (急性放射線症候群の発症無し) • 確率的影響は放射線がない状況での自然発生率を超えない 	<ul style="list-style-type: none"> • 緊急避難による死 (介護保健福祉施設入居者) • 生活習慣病の増加 • 生活不活発病の増加 • 防護具による新たな健康リスク

©2016 Arifumi HASEGAWA FMU

Clinical Oncology 28, 237-244, 2016

East Japan Great Earthquake, Tsunami, and NPP accident

14:46 11th March, 2011



©2017 Arifumi HASEGAWA FMU

Tsunami (津波) after the earthquake

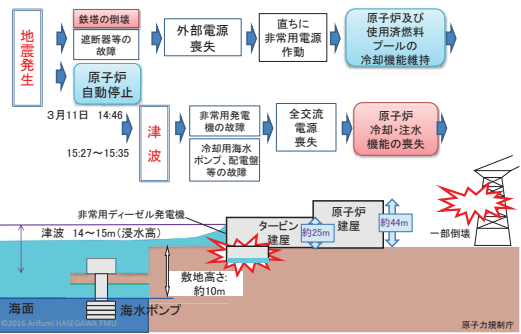


Casualties : over 24,524

Dead: 15,037, Missing: 9,487

© 2016 Arifumi HASEGAWA FMU (As of May 14th, National Police Agency)

福島第一原子力発電所事故の経過



Series of core damage



- Loss of water supply
- Temperature increase
- Core melt down
- Core melt through
- Hydrogen generation
- Hydrogen explosion

©2016 Arifumi HASEGAWA FMU

JNES

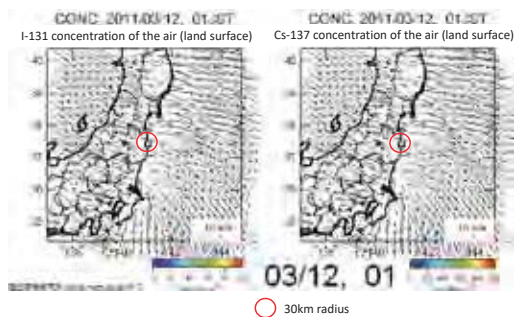
Hydrogen explosion



©2016 Arifumi HASEGAWA FMU

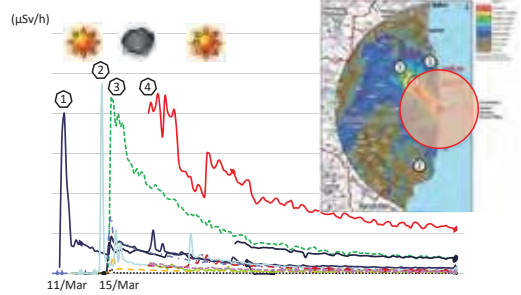
TEPCO

Proliferation of the radionuclides



©2016 Arifumi HASEGAWA FMU

Time course of air dose rate in the Fukushima prefecture Cs-137 deposition on the surface of the soil (map)

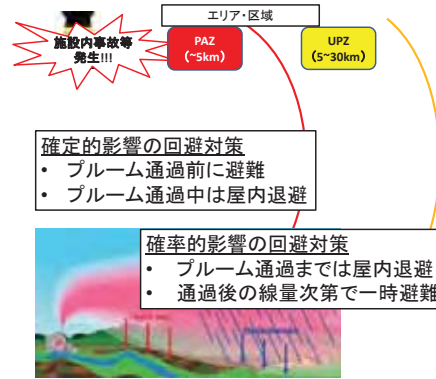


The National Diet of Japan, the Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission. The official report of the Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission : executive summary, 2012, <http://ci.nii.ac.jp/ncid/BB09744303>

放射性物質の土壌沈着



©2016 Arifumi HASEGAWA FMU (http://www.rcnp.osaka-u.ac.jp/dojo/)



©2016 Arifumi HASEGAWA FMU

不明確な状況での緊急避難



©2016 Arifumi HASEGAWA FMU

福島第一原子力発電所の近隣病院



病院避難(双葉厚生病院)

©2017 Arifumi HASEGAWA FMU Shigetomi S, Futaba Kosei Hospital, http://www.white-family.or.jp/healthy-island/htm/repoto/repo-g130.htm

放射性物質が付着した傷病者に対する診療の遅れ

13/Mar/2011



避難による(避けられたかもしれない)死

介護保健福祉施設入居者の緊急避難

- 目的: 被ばく線量低減→達成
- 結果: 60人余の死亡
- 考察: 回避の可能性、避難の功罪



©2016 Arifumi HASEGAWA FMU

The Lancet, 379, 889-891, 2012

“Was the evacuation risk from nursing-home after the Fukushima accident higher than the radiation risk?”

Loss of Life Expectancy (LLE)

Evacuation status	Rapid evacuation	10-day delayed evacuation	20-day delayed	120-day evacuation
Nursing home residents	11000 (10000-12000) #1	Unknown	Unknown	Unknown
Nursing home staff	610 observed	Unknown	Unknown	Unknown
Relatives/visitors	Unknown	Unknown	Unknown	Unknown
Nursing home residents	3.26	1.7	1.20	0.80
Nursing home staff	0.1	0.05	0.00	0.00
Total	11000-12000-13000-14000	2.1	1.100	0.800

The health risk associated with the rapid evacuation of elderly residents from nursing care facilities after the Fukushima accident was 2- to 10 times higher than the radiation risk of the reference levels for evacuation that are recommended by the ICRP.



PLoS One 2015;10:e0137906.

©2016 Anrumi HASEGAWA FMU

避難と転居 死亡率の上昇

避難指示区域の介護保健福祉施設入居者死亡率比較

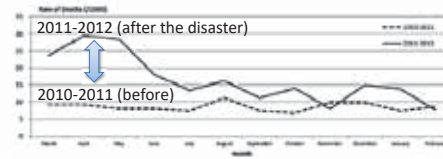


Fig. 1. Changes of mortality rates among the institutionalized elderly before and after the Fukushima NPP accident. (in the evacuation area when the disaster occurred).

Table 1. Comparison of quarterly mortality rates before and after the disaster.

	March to May	June to Aug	Sep. to Nov	Dec. to Feb.
2010-2011(a) #	8.87	8.87	8.88	8.88
2011-2012(b) #	27.15	13.90	11.07	12.10
Quarterly mortality rate (b/a)	3.1	1.6	1.2	1.4

©2016 Anrumi HASEGAWA FMU

Yasumura, et al., Fukushima J Med Sci.60, 2, 2014

医療支援と放射線災害

“Japan DMAT のジレンマ”

- 事故や災害急性期の医療班
- 多くのシーンで活躍
- 原子力事故に対する準備は不十分
- 3月15日に福島から待避を余儀なくされた



©2017 Anrumi HASEGAWA FMU

福島県立医科大学附属病院

- Advanced Treatment Hospital
- Cancer & Trauma Center
- Disaster Base Hospital
- HEMS
- 778 beds

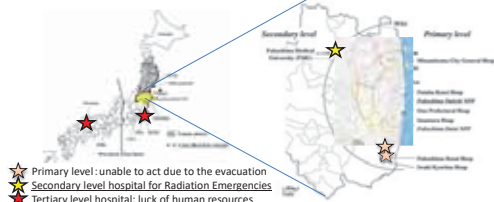


結果的に県内唯一の被ばく医療機関となる

©2017 Anrumi HASEGAWA FMU

Health Phys. 106(6), 630 – 637, 2014 Modification

地域医療体制の崩壊

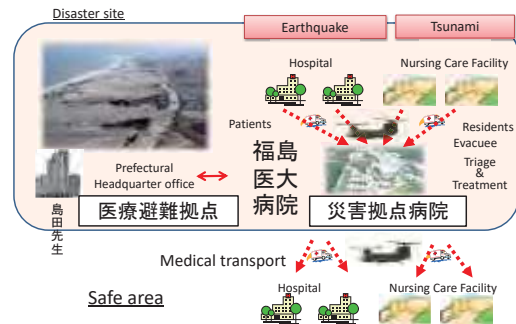


医療過疎 + 複合災害 + 避難指示
= 地域医療崩壊
= いわんや「特殊な医療体制の崩壊」

©2017 Anrumi HASEGAWA FMU

Health Phys. 106(6), 630 – 637, 2014 Modification

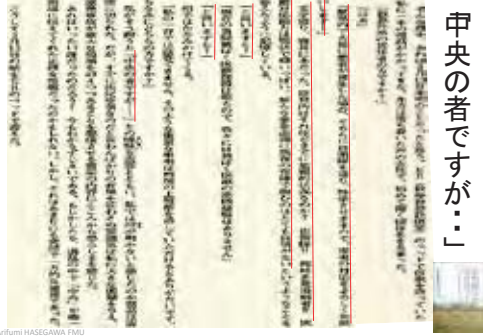
★ 自然災害における福島医大病院の役割



©2017 Anrumi HASEGAWA FMU

深夜ER仮眠中に謎の電話を受ける

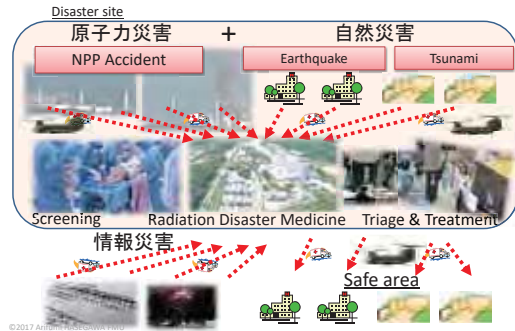
「さくらんぼちゃん...」



中央の者ですが...

©2016 Anriformi HASEGAWA FMU

複合災害に於ける福島医大病院の役割



©2017 Anriformi HASEGAWA FMU

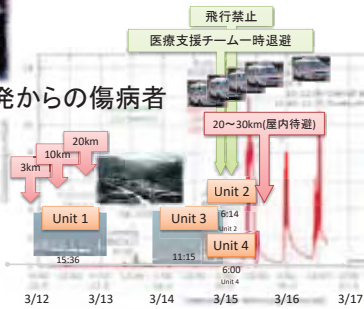
不明確な状況での汚染傷病者受入れ

「中央からの電話予告が現実となる」

福島第一原発からの傷病者

避難指示

発電所爆発



©2016 Anriformi HASEGAWA FMU

2011年3月14日
水素爆発による外傷・被ばく・汚染傷病者が発生



- コンクリート塊が飛散
- 十数人が負傷
- 被ばく・汚染を伴う
- 頸髄損傷疑い傷病者が搬送されてくる

被ばく情報 記載無し

汚染情報 影響推計困難

©2016 Anriformi HASEGAWA FMU

「情報の不足」が「情報の氾濫」を招く

- 「先生、私達は大丈夫なの?」
- 「逃げなくていいの?」
- 肉体的・精神的限界
- 不安・恐怖・猜疑心が充満
- 院内混乱



©2016 Anriformi HASEGAWA FMU

内容

1. 経験と反省
2. 問題の本質とその理由
3. 進化・順応と健康

©2017 Anriformi HASEGAWA FMU

医療現場は放射線リスクの相場感がわからない

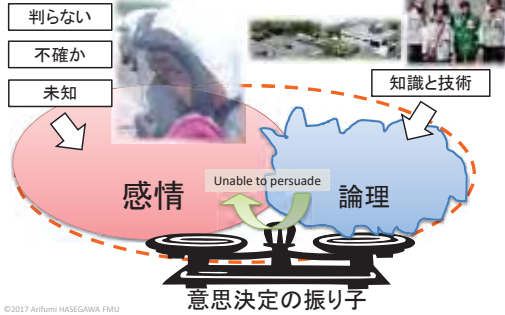
100,000cpmとは?



GMサーベイメーターの計測可能最大値(振り切れる値)
それってどの位の影響を受けるのですか??

©2016 Anfumi HASEGAWA FMU

危機に直面した医療者の反応
「論理」だけでは「感情」を制御できない



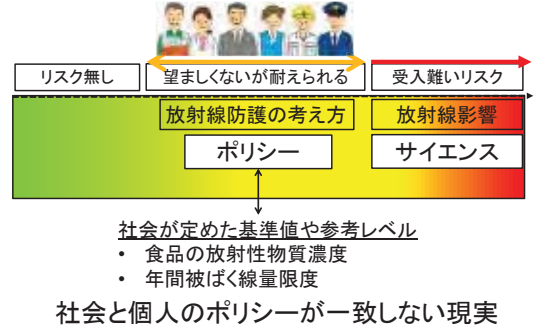
©2017 Anfumi HASEGAWA FMU

福島医大病院
緊急被ばく医療の現実



©2016 Anfumi HASEGAWA FMU

生活の中の「サイエンス」と「ポリシー」



©2017 Anfumi HASEGAWA FMU

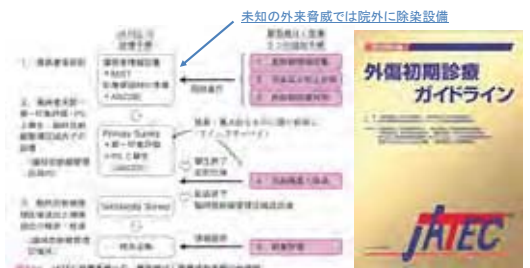
Principle of Disaster Management
"CSCATT"

Turn on the switch

- > Command & Control
 - > Safety
 - > Communication
 - > Assessment
 - > Triage
 - > Treatment
 - > Transportation
- Establish the Disaster Management System
- Implementation of the Disaster Medical Care

MIMMS Advanced course

福島医大の診療システムが全国標準に



©2016 Anfumi HASEGAWA FMU

改訂第5版 外傷診療ガイドライン(へるす出版)

福島事故の反省(福島医大病院)

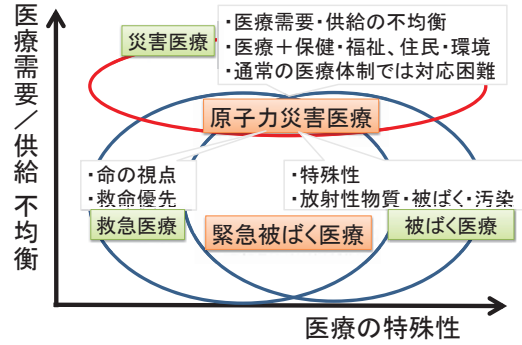
<救急医の視点から>

- 放射線災害が自然災害と複合して発生するという意識(想像力)に乏しかった。
 - 放射性物質に対する正しいリスク評価ができなかった。
 - 放射性物質の関与する傷病者の診療に不安を伴った。
 - 短期間だが、放射性物質付着が理由で、医療の質が低下する恐れがあった。
- 不幸中の幸い
- 致命的傷病を伴う被ばく・汚染傷病者がたまたま発生しなかった。
 - 傷病者への有害事象は発生しなかった。



©2017 Arifumi HASEGAWA FMU

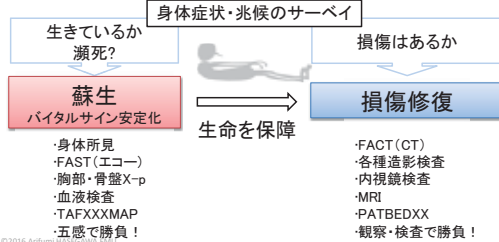
原子力(放射線)災害医療とは?



緊急被ばく医療であっても

通常の救急医療手順が必須である

「生理学的診療」 Primary Survey 「解剖学的診療」 Secondary Survey



©2016 Arifumi HASEGAWA FMU

今後備えるべきケース

©2017 Arifumi HASEGAWA FMU

内容

1. 経験と反省
2. 問題の本質とその理由
3. 進化・順応と健康

©2017 Arifumi HASEGAWA FMU

HAL® (Hybrid Assistive Limb)とHealth

- 自立動作支援ロボットスーツ
- 随意・自立の二種の制御システム
- 山海嘉之教授(筑波大学)が開発
- 患者が筋肉を動かそうとしたとき皮膚表面に流れる生体電位を信号にして、下腿運動補助を機械で行うシステム



©2016 Arifumi HASEGAWA FMU

Healthとは

WHOの定義

- 健康healthとは
- 完全なる良好状態
 - complete well being

現代社会

- 劇的な環境・社会変化
- 超高齢社会
- 完全治癒未然状態の増加
- 価値観の変化

- 現代社会における健康とは、本当にWHOの定義に一致するか？
- WHOの定義は現代社会における人間に幸福を与えることができるのか？

©2016 Anfumi HASEGAWA FMU

BMJ

*"not only for providing the complete wellbeing"
"but also support people getting ability to adapt and self manage in the face of social, physical, and emotional challenges during their narrative life stories"*

How should we define health?

The WHO definition of health is complete wellbeing is no longer fit for purpose given the rise of chronic diseases. Michael Huber and colleagues propose changing the emphasis towards the ability to adapt and self-manage in the face of social, physical, and emotional challenges.

Michael Huber senior researcher¹, J André Knauthius president, ScienMe Council for Governmental Policy², Lawrence Green editor in chief, Oxford Bibliographies Online—public health³, Henkette van der Horst head⁴, Alexander H Jaged professor⁵, Daan Kuykhoust vice president, Health Council of the Netherlands⁶, Brian Leavelle professor⁷, Kate Long professor⁸, Maria Isabel Lourens coordinator for health promotion and protection⁹, Jos W M van der Meer professor¹⁰, Paul Schnabel director¹¹, Richard Smith director¹², Chris van Weel head¹³, Hank Smeid director¹⁴

©2017 Anfumi HASEGAWA FMU

健康の概念に関する新しい提案

- 健康:「変化で起こる問題に適應する能力」
身体的のみならず、精神的、社会的な環境変化に主体的に順應する能力を維持すること—生進化し続けること
- 進化:環境変化に対する順応
- 医療の一つの役割(私感):
劇的な環境変化に順応しようと努力する人の個々の人生を(特に医学的な面から)支援すること
人々の進化を支えること

©2016 Anfumi HASEGAWA FMU

放射線災害とHAL[®]が教えてくれること

どんなに社会が、環境が激変しても

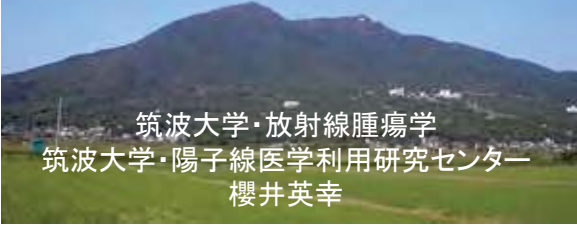
- 人は変化にしなやかに対応してゆくことができる
- 人は死の瞬間まで健康でありつづけることができる
- 人は死の瞬間まで進化し続けることができる

©2016 Anfumi HASEGAWA FMU

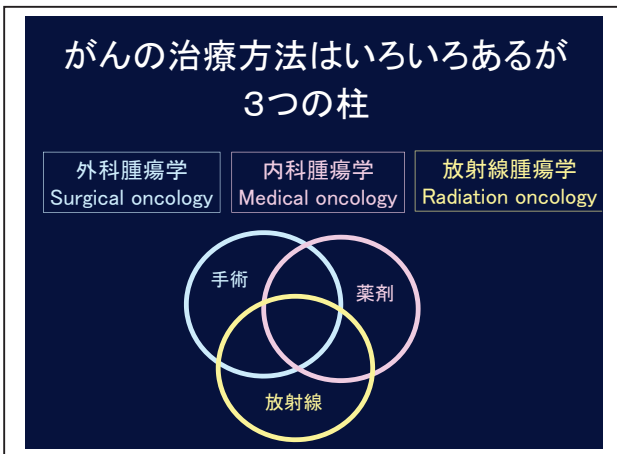
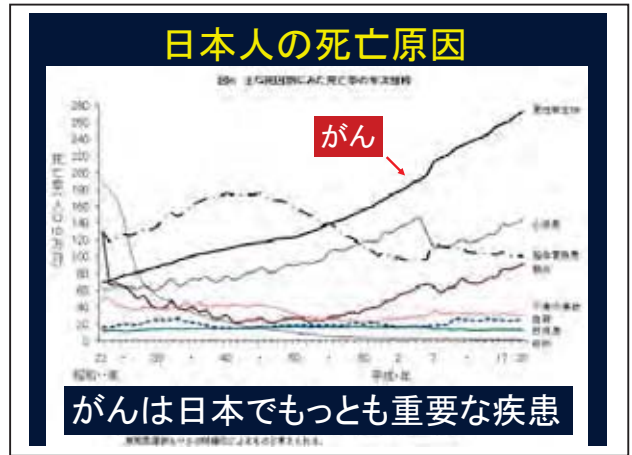
切らずに治すがん治療

IMAGINE THE FUTURE

がんの治療法をいくつあげられますか？



筑波大学・放射線腫瘍学
筑波大学・陽子線医学利用研究センター
櫻井英幸



- 放射線治療の利点・欠点
手術と比べてどうでしょうか？**
- **利点**
 - 機能、形態を残せる **最も重要なポイント**
 - 高齢者、合併症のある患者にも対応できる
 - 体のどの部位でも狙い打ちできる
 - **欠点**
 - 放射線による副作用のリスク
 - 放射線治療が利きにくい癌がある

癌治療にはQOLの維持が大事

喉頭癌(声帯のがん)になったら

手術をすると

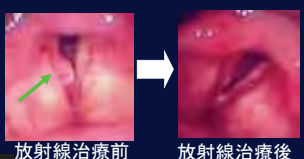
喉頭(のど)を切除 → 永久気切口 → 声が出ない
においがわからない
鼻がかめない
お風呂に肩までつかれない

放射線治療だと

声ができる
においがわかる
鼻がかめる
海で泳げる

QOLが低下しない

形態と機能の温存



いろいろな癌の手術が変わってきた

昔 Big Surgeon Big Incision
偉大な外科医ほど大きな切開をおいて安全で確実な手術をする

今 **拡大手術から縮小手術へ**
治療成績を落とさないでいかに侵襲を小さくするかが課題
肺癌、食道癌、乳癌、肝癌、直腸癌、骨軟部腫瘍など...
(つまり外科のテーマもQOLの重視)

開胸手術 胸腔鏡手術



放射線治療の種類

放射線治療を選択した時にも多くの治療法がある

1. 外部照射

- ・X線（一部ガンマ線）を使う
三次元照射，定位照射，強度変調照射
- ・粒子線を使う
陽子線，炭素線，中性子線

2. 小線源治療

- ・密封線源
- ・非密封線源

X線，γ線は光のようなものなので
=光子という
粒子線は質量（重さ）を持っている

昔と今

コバルト60遠隔照射装置

1980年ころ



リニアアクセレーター照射装置—直線加速器— 1990年ころ



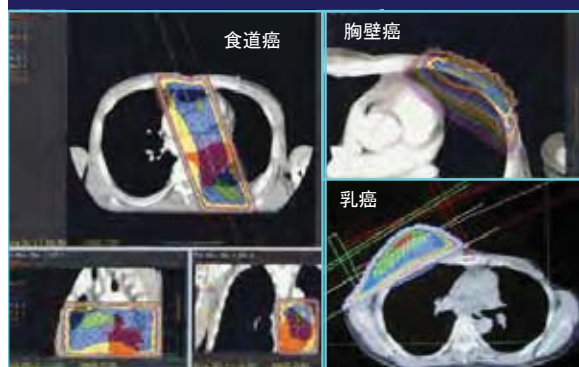
リニアアクセレーター照射装置—直線加速器—

最近



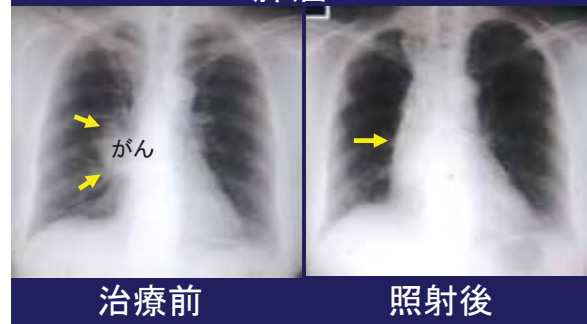
定位照射
強度変調
(IMRT)
イメージガイド
呼吸同期
ロボット寝台

放射線治療はすべてオーダーメイドです



放射線の効果を目で見る

肺癌

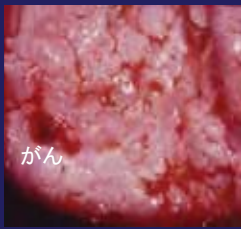


放射線の効果を目で見る

子宮頸癌

放射線治療前

放射線治療後1年



放射線の効果を目で見る

形と機能を残す直腸癌の治療

治療前

治療後



食道癌治療後の経過

(照射線量60GyE/30Fr)

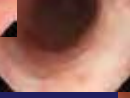


←治療前



←照射終了後2週間

照射終了後2ヵ月半→



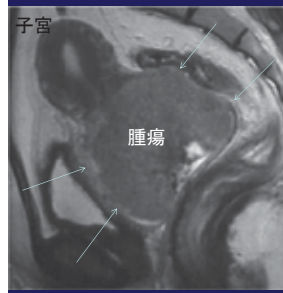
照射終了後8ヵ月半: 無再発→



子宮頸癌(腫瘍最大径8cm)

治療前

治療後



放射線治療の種類

放射線治療を選択した時にも多くの治療法がある

1. 外部照射

- ・X線(一部ガンマ線)を使う
三次元照射, 定位照射, 強度変調照射
- ・粒子線を使う
陽子線, 炭素線, 中性子線

2. 小線源治療

- ・密封線源
- ・非密封線源

X線, γ線は光のようなものなので
=光子という
粒子線は質量(重さ)を持っている

新しい外部照射法

どちらも正常組織に当てずに癌にだけ当てる能力が高い

1. 定位放射線治療 (SRS, SRT)

ピンポイント照射
小さい病巣をねらい撃ち

ガンマナイフ
サイバーナイフ
その他



2. 強度変調照射 (IMRT)

大きい病巣でも正常組織をよけて照射

ノバルリス
シナジー
トモセラピー
その他



最新の放射線治療方法

ガンマーナイフ

手術に変わる放射線治療法
小さい病変を一回で治したいときに有効

サイバーナイフ(定位放射線治療専用装置)

産業用ロボットが直線加速器を自由自在に動かす

ガンマーナイフより少し大きいものも治療できる

サイバーナイフ(定位放射線治療専用装置)

69y M
左難聴

080710 1y5m after
症状の消失

肺癌に対する定位放射線治療

Stereotactic radiation therapy: SRT

新しい外部照射法

どちらも正常組織に当てずに癌にだけ当てる能力が高い

1. 定位放射線治療 (SRS, SRT)

ピンポイント照射
小さい病巣をねらい撃ち

ガンマーナイフ
サイバーナイフ
その他

2. 強度変調照射 (IMRT)

大きい病巣でも正常組織をよけて照射

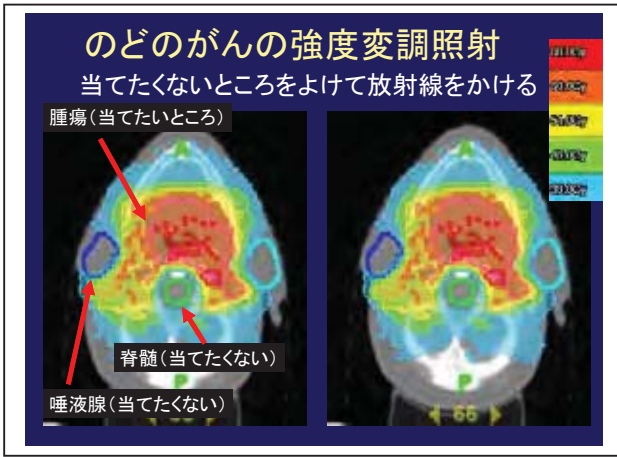
ノバルリス
シナジー
トモセラピー
その他

強度変調照射 (IMRT)

大きい病巣でも正常組織をよけて照射

普通に3方向からかけると IMRTで3方向からかけると

線量の分布



放射線治療の種類

放射線治療を選択した時にも多くの治療法がある

- 外部照射
 - ・X線(一部ガンマ線)を使う
三次元照射, 定位照射, 強度変調照射
 - ・粒子線を使う
陽子線, 炭素線, 中性子線
- 小線源治療
 - ・密封線源
 - ・非密封線源

X線, γ線は光のようなものなので
=光子という
粒子線は質量(重さ)を持っている

先端的放射線がん治療: 陽子線治療

●がん(悪性腫瘍)に対する放射線治療の新技术
●正常組織をすり抜け、がん病巣で陽子線が止まる
●X線による放射線治療よりも効果が高く、副作用が少ない

高速に加速した水素原子核

肝臓の治療例
がんの形をくり抜くように陽子線が分布
→正常の肝臓が傷まない

陽子線の分布

27



陽子線による肝細胞癌の治療

照射前

4年後

まるで肝臓を切除したように、腫瘍が消失し、残った肝臓が腫大し肝機能を保つ

肝門部HCC
72.6GyE/22回

小児がんに対する陽子線治療の有用性

1歳女児の腹部に発生した肉腫

成長障害なし

4歳

X線治療では
・肝機能が温存できない
・はっきりした成長障害が必発

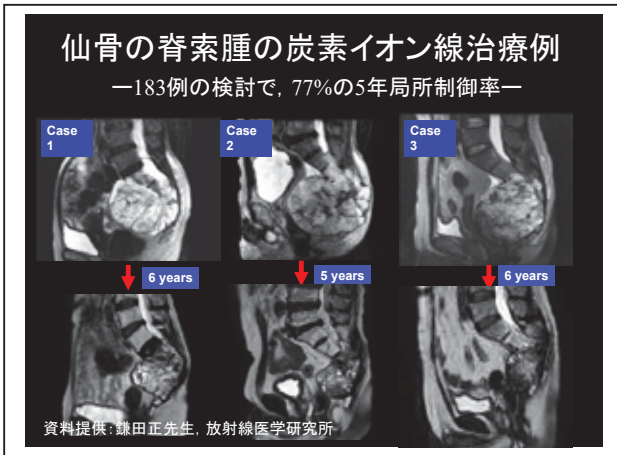
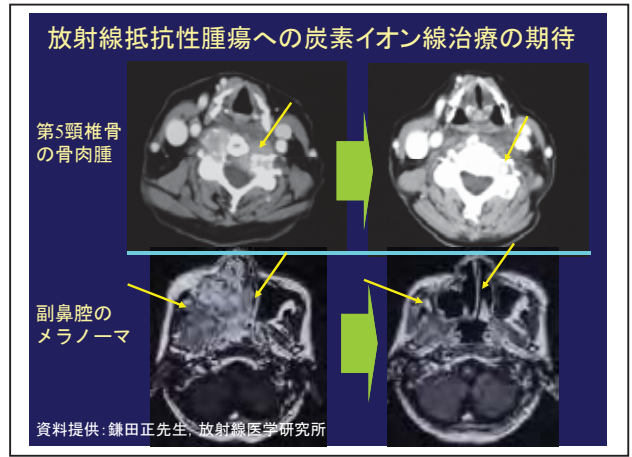
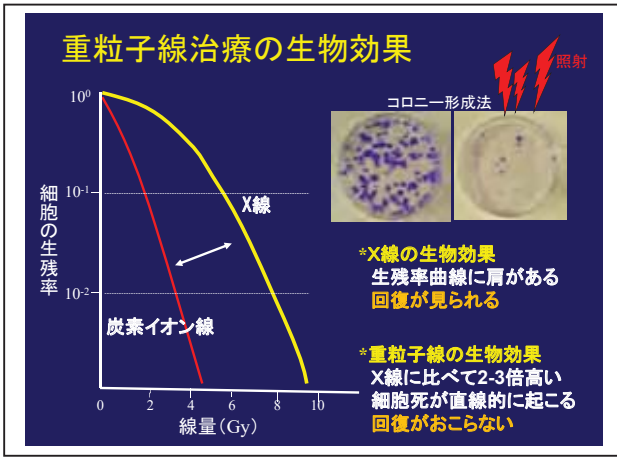
陽子線

腫瘍

100

脊椎

脊椎の線量=0



放射線治療の種類

- 外部照射
 - X線 (一部ガンマ線) を使う
三次元照射, 定位照射, 強度変調照射
 - 粒子線を使う
陽子線, 炭素線, 中性子線 (BNCT)
- 小線源治療
 - 密封線源
 - 非密封線源

X線, γ線は光のようなものなので = 光子という
粒子線は質量 (重さ) を持っている

小線源治療とは

がんに直接線源を接触 → 正常組織をいためず
がんに多くの線量

ラジウムの発見
1898年 キュリー夫妻

ラジウムによる皮膚がんの治療

1905年のオーストラリアのセントビンセント病院

—小線源治療 (密封線源)—

舌癌など頭頸部腫瘍に対する組織内照射

肺門部早期癌に対する腔内照射

前立腺癌に対する高線量率組織内照射

放射線治療計画は手術と同じ意味合い

- どこからどこまで根治線量で照射するか
- 正常組織をどこまで避けられるか

予想される治癒率とQOLのバランスを判断

次世代放射線がん治療：中性子捕捉療法 (Boron Neutron Capture Therapy, BNCT)

BNCTの機序

- **がん細胞だけに高い威力を発揮する、がん細胞選択的粒子線治療**
- **1回の照射(30分~1時間)で治療完了する、利便性**
- **浸潤がんや多発病変、再発がんなど治療困難ながんに適応**

BNCTの病院内治療、先進医療化に向けて

原子炉での治療

- 不安定
- 煩雑な管理
- 原子炉規制法の規制

小型加速器を利用した、病院内で安全、安定、簡便にできるBNCT

スムーズな先進医療化、治療装置の薬事登録には、特区による規制緩和が鍵。

薬事登録後もフレキシブルな装置の改良・高度化が進化には必要。

臨床研究から先進医療、保険診療へ。装置の普及を目指す。

「いばらき中性子医療研究センター」と「中性子医学研究開発室」の整備

- 茨城県による「いばらき中性子医療研究センター」の整備
- 同施設に治療装置を設置し臨床研究環境を整備

放射線腫瘍学 Radiation Oncology

放射線腫瘍科の役割

- ・がんの総合的診療科として治療方針を討議、決定
- ・根治的治療、集学的治療が主体
- ・対症療法も大切
- ・長期的な経過観察を行い、患者への責任を果たす
- ・集学的治療を行う病棟診療を担当する

がんの放射線治療・陽子線治療の現状と将来

筑波大学・医学医療系・放射線腫瘍学
筑波大学・陽子線医学利用研究センター
櫻井英幸

筑波大学附属病院
University Hospital of Tsukuba

あらゆる放射線治療が可能
治療の選択肢は、国内随一

- ・世界でも有数の陽子線治療施設の診療
- ・3D-CRT (3次元原体照射法)
- ・SRS (立体手術的照射法)
- ・SRT (高線量放射線治療)
- ・IMRT (強度変調放射線治療)
- ・IGRT (画像誘導放射線治療)
- ・Particle beam therapy (粒子線治療)
- ・Brachytherapy (小線源治療)
- ・BNCT (硼素中性子捕捉療法)
- ・Hyperthermia (温熱療法)

国際的な研究活動が可能です
世界への扉

放射線治療は

・たくさんの疾患を対象

がんの総合的診療，総合的な診断能力が養える

・多様な治療目的

多様性，多目的（根治，対症，姑息...）

・放射線治療の中でもたくさんの選択肢

利用できる新しい装置が増えている

- ・機械の進歩が大事なのではなく，機械を使う医師が人や病気をよく理解していることが重要
- ・患者さんの視野に立って，大きな視点で個々の患者の治療を考えられることが重要

この仕事の魅力

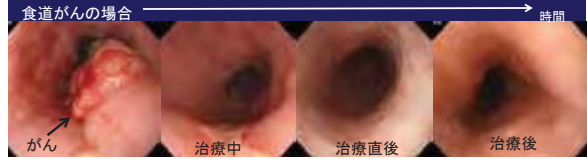
がん治療への患者の要望に答えられること
「あとかたもなくがんを消してほしい」

放射線治療では

痛みや苦痛が少なく，形態と機能が残る

放射線腫瘍医として

がんが治った感覚，がんを治した感触が残る



高齢化社会をむかえ癌治療は

放射線治療の役割が大きくなります

新しい放射線治療は

ひとにやさしく，がんにきびしい

学生のみなさん，興味を持ってください



< 參考資料 4 >

特別講演 資料

① Particle Therapy in Asia:
Current and Future Developments

Hsiang-Kuang Tony Liang (梁祥光), B. S.
(Physics), M. D.
National Taiwan University



**Particle Beam Therapy in Asia:
Current and Future Developments**
National Taiwan University (NTU) Hospital
Tsukuba Proton Medical Research Center
Tony Hsiang-Kuang Liang, B.S. (Physics), M.D., Ph.D. candidate
Opening School, Chiba, August 29, 2017



1

My Career Path

- ❖ 20+ years ago: from physics to medicine, and now biomedical engineering
- ❖ 10+ years ago: from neurology to radiation oncology
- ❖ 5 years ago: proton center project and multidisciplinary collaboration




Mountain of Tsukuba


www.ibarakiguide.jp/db-kanko/mt_tsukuba.html



2

Outline

- ❖ Introduction of National Taiwan University Cancer Center (NTUCC)
- ❖ Radiotherapy evolution
- ❖ Particle beam therapy in Asia: challenges and strategies
- ❖ The era of multidisciplinary collaboration in cancer research



3




Taiwan
TPE ↔ NRT flight
3 hours 20 minutes


Google



4




Formosa: Beautiful Island



Taiwan
Population: 23,500,000
Area: 36,193 km²

Tokyo Metro
Population: 37,800,000
Area: 13,572 km²



5

Xiaolongbao **Braised pork rice** **Beef noodles**





Tapioca milk tea **台灣美食 (Taiwanese Food)**



Pineapple cake **Mango ice**

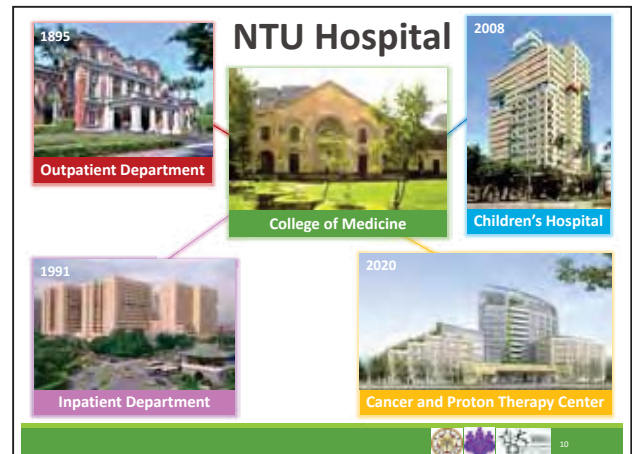




6

1. Introduction of NTUCC

Tokyo Station vs. NTU Hospital



NTU Cancer Center Project



Milestones of Proton Center



Construction Site



Photo taken on 2015/9/8



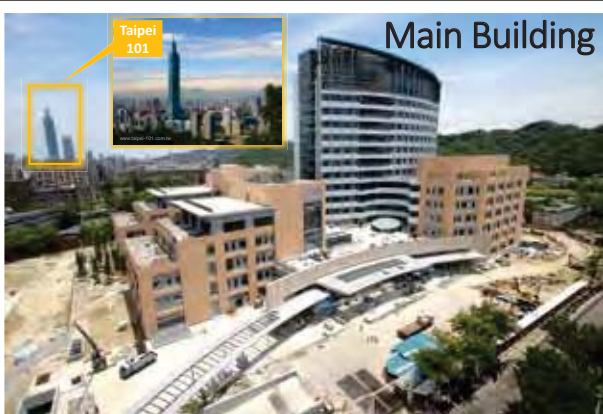
13

Radiotherapy Instruments



14

Main Building



15

Radiation Science and Proton Therapy Center

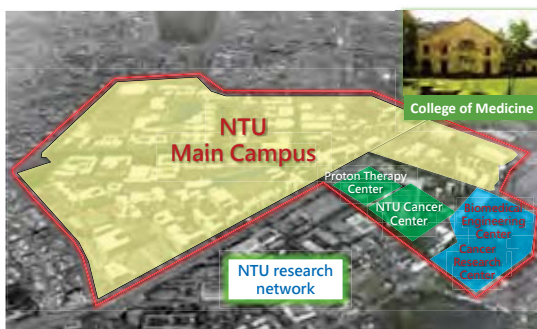


Cancer Research Center



16

NTU Research Network



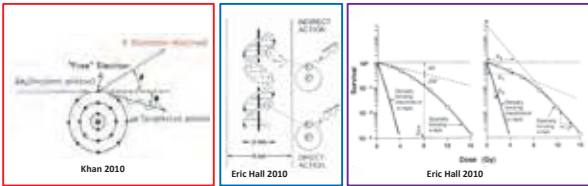
17

2. Radiotherapy Evolution

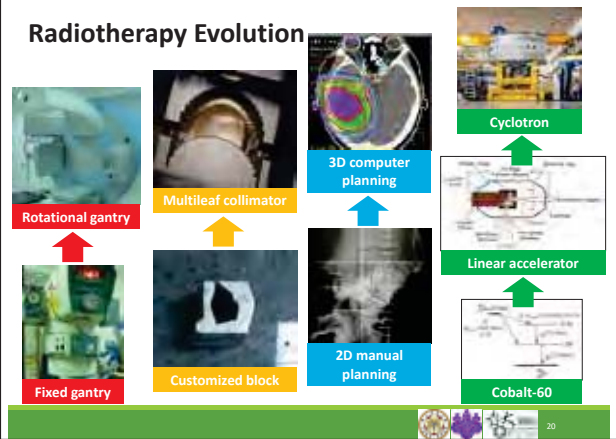
18

Mechanism of Radiotherapy (Photon)

- ❖ **Compton effect:** photon; 10^{-10} to 10^{-5} sec; 10^{-10} m
- ❖ **DNA double strand breakage:** free radical; 10^{-5} sec; 10^{-9} m
- ❖ **Cell survival curve:** no proliferation; hours; 10^{-6} to 10^{-4} m



Radiotherapy Evolution



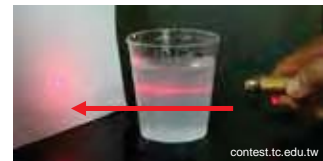
Particle Beam Therapy

- ❖ Proton therapy
- ❖ Heavy ion therapy
- ❖ Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)

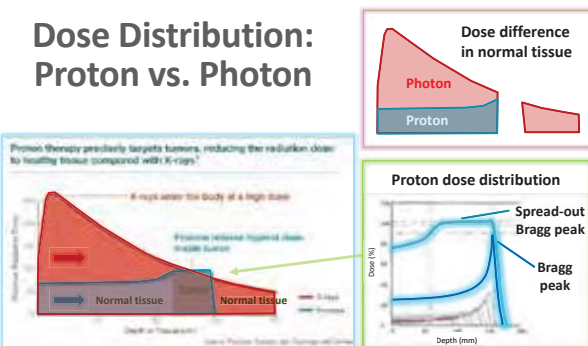
Particle (Proton)



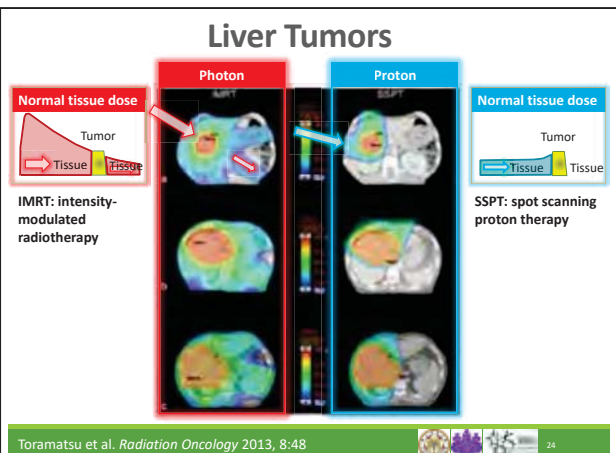
Wave (Photon)



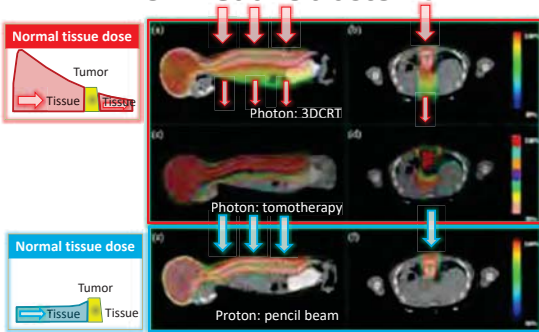
Dose Distribution: Proton vs. Photon



Liver Tumors



Pediatric Craniospinal Irradiation for Medulloblastoma

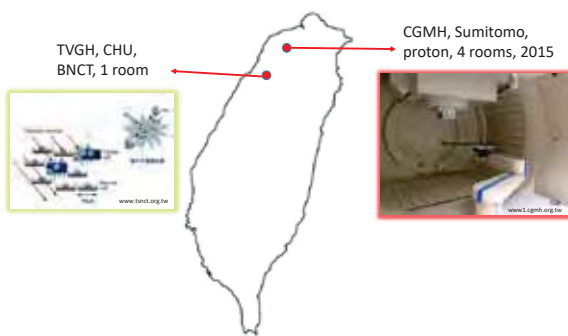


Yoon et al. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2011, 81:3

25

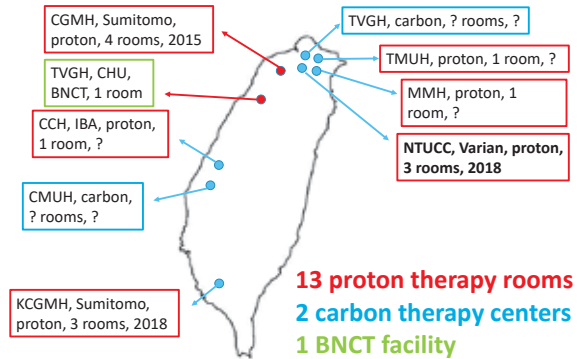
3. Particle Beam Therapy in Asia

Present Particle Therapy Center in Taiwan



27

Future Particle Therapy Centers in Taiwan



28

Future Challenges for Asia Particle Therapy Society



29

Challenges for the Asia Proton Therapy Society

COMMENTARY

Reconciling Reimbursement for Proton Therapy

Peter A.S. Johnstone, MD, FACR,* and John Kerstiens, MBA, CPA[†]

- ❖ Reimbursement: debt loads
- ❖ High cost: facility, maintenance, and personnel
- ❖ Limited demand: clinical indication

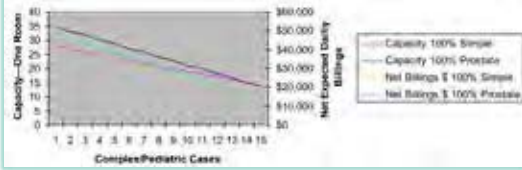
Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2016 1,95(1):9-10

30

Limited Clinical Demand

Proton Facility Economics: The Importance of "Simple" Treatments

Peter A. S. Jureleski, MD¹, John Kinsler, CPA², Richard Hepler, MBA³



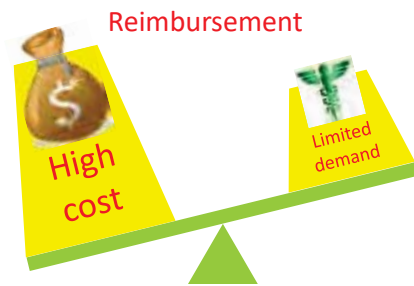
Pediatric cancer treatments are important indications but do not bring projected income.

J Am Coll Radiol. 2012;9(8):560-3



31

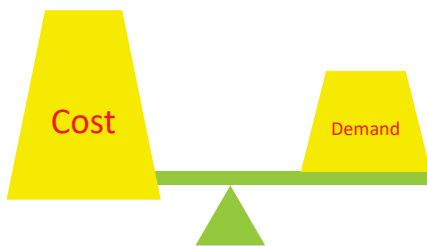
Proton Facility Economics



32

Ways to Balance the Budget

Reduce the cost Increase the demand



33

Ways to Reduce the Cost

- ❖ Reduce the facility size
- ❖ Reduce the maintenance fee
- ❖ Elevate the machine performance



34

Ways to Increase the Demand

*"Price is what you pay.
Value is what you get."*

(Warren Buffett)

*"Value is what patients (health insurance system) get.
Price is what patients (health insurance system) pay."*



35

The Value of Proton Therapy

- ❖ Decrease treatment toxicity
- ❖ Treatable: dosimetry advantage, technique, accuracy
- ❖ Increase treatment effects
- ❖ Curable: combined modalities



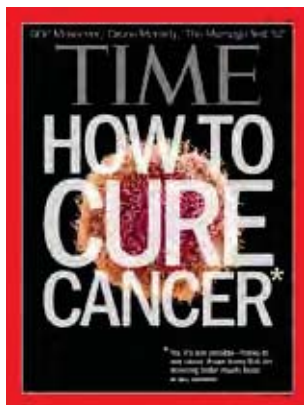
36

Ways to Increase the Value

- ❖ Combined with other treatments
- ❖ Radiotherapy (photon, carbon, BNCT)
- ❖ Drugs (chemotherapy, targeted therapy, immunotherapy)
- ❖ Hyperthermia, intervention, surgery (da Vinci), and other treatment modalities



4. The era of multidisciplinary collaboration in cancer research



Time, April 2012

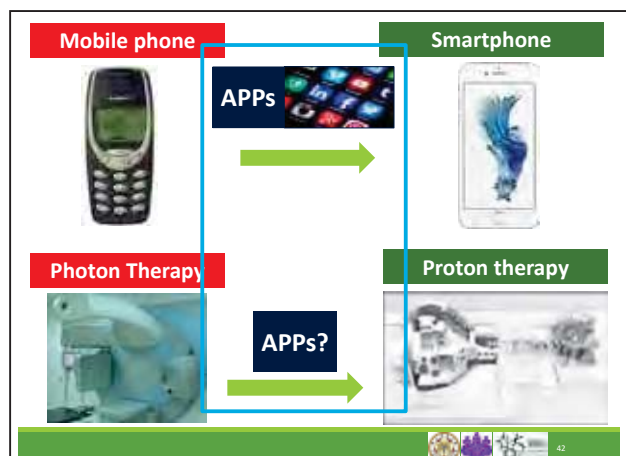
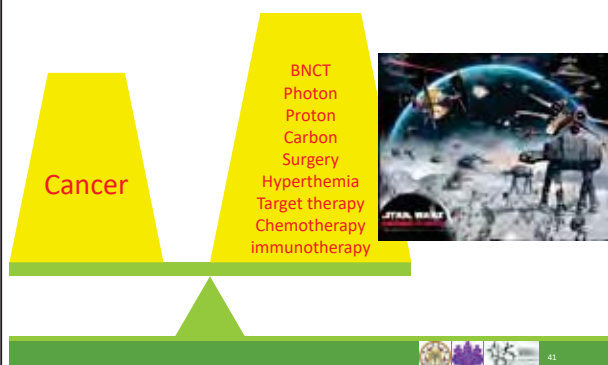


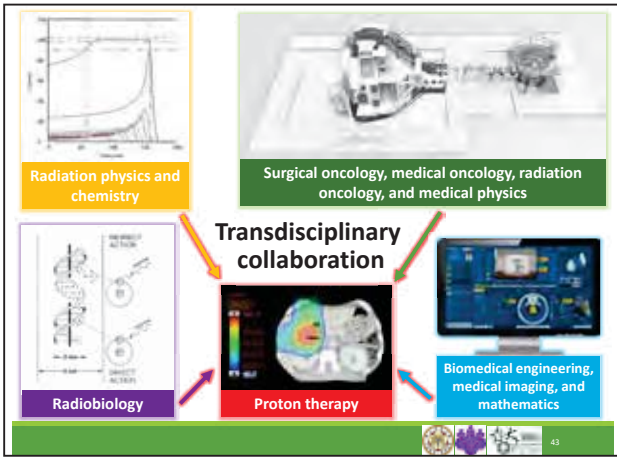
Strategy to Cure Cancer: Multidisciplinary Collaboration

- ❖ It (cancer) works as one great armed force, attacking by the equivalent of air and land and sea and stealth,...
- ❖ The hero scientist who defeats cancer will likely never exist.
- ❖ A team-based, cross-disciplinary approach to cancer research is upending tradition and delivering results faster.





Strategy of Combination





5. How to conduct the multidisciplinary collaboration in cancer research

<u>Value</u>	<u>Value</u>
Lamb + Curry + Rice	< Lamb Curry Rice
ラム + カレー + ライス	< ラムカレーライス
	
→ Combination	

Connection, Communication, Collaboration
Partners, Listening/Sharing, Teamwork

“Boys, Be Ambitious.”

少年よ、大志を抱け William Smith Clark, 1826-1886




<http://www.hitsujigaoka.jp/amusements/clark.html#chikai>

Your Career Path

- ❖ After 3 years:
- ❖ After 5 years:
- ❖ After 10 years:



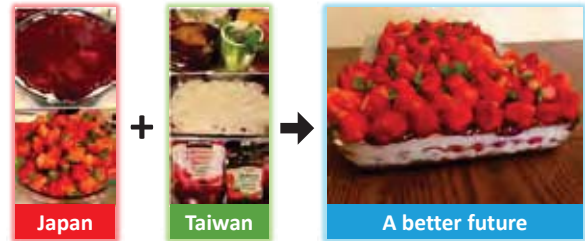
Future?



Find Your Vision, Mission, and Companion



www.tbs.co.jp/shitamachi_rocket/



ご清聴ありがとうございました。
感謝聆聴! Thank you!



<参考資料 5> 入手資料一覧

○筑波大学

- 「筑波大学」(平成 29-30 年度大学概要)
- 「陽子線治療をお考えの方へ」(リーフレット)
- 「サイバニクス研究センター」(リーフレット)

以 上

<参考資料6> 掲載メディア・記事抜粋

原子力産業新聞 Web版(2017年9月4日)掲載記事より転載
<http://www.jaif.or.jp/news/newspaper/>

JAIF

一般社団法人 日本原子力産業協会
JAPAN ATOMIC INDUSTRIAL FORUM, INC.

放射線医学オープンスクール 学生たちが陽子線治療施設など見学

2017年9月4日

医療系または理工系大学生対象のプログラム「放射線医学オープンスクール-最先端技術に触れる」が8月29日から30日まで開催され、放射線医学に興味を持つ37人の学生が参加した。同スクールは、医用原子力技術研究振興財団および医師のキャリアパスを考える医学生会の会などが中心となって2008年より毎年行っており、今回が10回目の開催となる。講義および特別講演のほか最先端技術の現場見学も含む内容で、1泊2日の研修となっている。

1日目は、日立製作所ヘルスケアビジネスユニット日立高精度放射線治療研修センターで、X線・粒子線治療装置の講義を受け、放射線治療装置と放射線治療計画システムを見学した。放射線治療計画では、正常細胞を傷つけずに腫瘍細胞に集中した線量分布を得るため、患者のCT(コンピュータ断層撮影)画像を元に照射の方向や形状、投与線量などを放射線治療ソフトウェアでシミュレーションして最適な照射方法を検討するデモンストラーションが行われた。続いて、ヘリカルCTシステムとC-ARM型放射線治療装置が一体となった「トモセラピー」について説明を受けた後、腫瘍の線量均一性に富み正常組織を避ける能力に優れた照射装置「Radixact」を見学した。量子科学研究開発機構放射線医学研究所の野田耕司所長が重粒子線がん治療の歩みについて講演を行い、T.ライアン(梁祥光)医師がアジアの粒子線治療の事情についての特別講演を行った。



放射線治療装置Radixact



小児がん患者用の陽子線治療施設

2日目は、筑波大学附属病院で、柴武二教授が放射線の可視化について、磯辺智範教授が放射線の医学利用について、それぞれ講義を行った。その後の陽子線治療施設見学では、陽子を最初に加速させるライナックや、その陽子を直径7mの円軌道上でさらに光速の約60%にまで加速させるシンクロトロンなどの治療装置の現場を訪れ、高さ10mで重さ200t以上もある巨大なガントリが回転する様子や、治療を受ける小児がん患者の不安を和らげられるようスヌーピーの絵柄が描かれた照射室で照射口が治療台の周りを回転する様子などを目の当たりにした。さらに福島県立医科大学の長谷川有史教授が放射線災害医療について、筑波大学の榎井英幸教授が

切らずに治すがん治療について講演し、最後に同大学サイバニクス研究センターでロボットスーツHALを見学した。

明日への人材を育てる企業一覧

<敬称略・五十音順>

広告協賛企業

- ・ 株式会社島津製作所
- ・ 東芝メディカルシステムズ株式会社
- ・ 東洋メディック株式会社
- ・ 株式会社日立製作所
- ・ ブレインラボ株式会社
- ・ 三菱電機株式会社
- ・ ユーロメディテック株式会社

寄附金協賛企業

- ・ 安西メディカル株式会社
- ・ 大阪重粒子線施設管理株式会社
- ・ 三菱電機株式会社

放射線治療の最強パートナー

動体追跡治療とIGRTを支援

放射線治療装置用動体追跡システムがさらに進化を遂げ、4式のFPDとX線管を搭載するSyncTraX FX4 versionとして生まれ変わりました。

IGRT支援機能Smart Alignerの搭載も可能に。

放射線治療の最強のパートナーとして効果的で効率の良い治療を支援します。

ガントリヘッドを避けた2方向から即座に透視・撮影が可能



SyncTraX FX4 version

放射線治療装置用動体追跡システム

製造販売承認番号：22500BZX00105000

TOSHIBA



Oncology Total Solution

高度な治療を支援する一歩先のソリューションへ

東芝メディカルシステムズは、様々な環境に応じた
オンコロジートータルソリューションをご提案します。

【東芝 & エレクタ放射線治療研修センター (RTTC)】

放射線治療装置 (Elekta Synergy®) を配備し、
実際に治療ビームを出力しながら研修ができる
国内初の施設です。実機を使用した以下のような
トレーニングコースを開催しています。

- オペレーショントレーニング
- ビーム測定に関するトレーニング



東芝は、安心・安全な「質」の追求、放射線治療の「研修の場」を提供していきます。

東芝メディカルシステムズ株式会社

本社 〒324-8550 栃木県大田原市下石上 1385 番地
<http://www.toshiba-medical.co.jp>

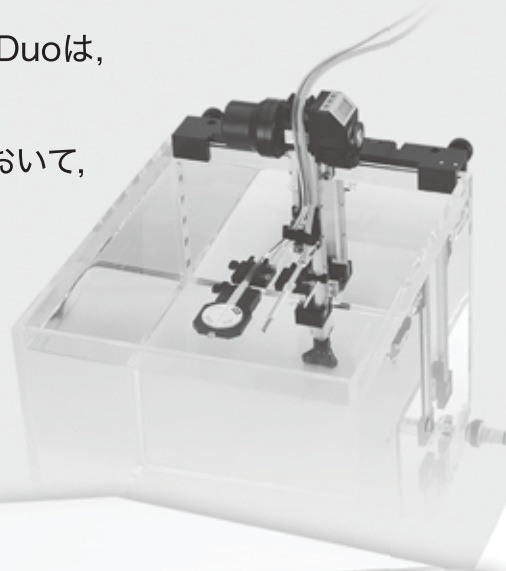
販売名: Versa HD リニアックシステム 承認番号: 22600BZX00282000
販売名: エレクタ インフィニティ 承認番号: 21800BZY10153A01
販売名: エレクタ シナジー 承認番号: 21800BZY10153000
販売名: エレクタ シナジー プラットフォーム 承認番号: 21600BZY00586000
販売名: プリサイストリートメントシステム 承認番号: 21300BZY00068000
製造販売業者名: エレクタ株式会社

線量計の理想へ。 「RAMTEC Duo」誕生。

リファレンス線量計 RAMTECシリーズの第四世代機、
RAMTEC Duoが誕生しました。

独立したアンプを2台搭載したRAMTEC Duoは、
2Ch同時測定を実現。

高エネルギー放射線の水吸収線量計測において、
外部モニタ電離箱を用いながらの
フィールド電離箱の相互校正に対応する、
まさに理想の線量計です。



東洋メディック株式会社

本社：〒162-0813 東京都新宿区東五軒町2-13
TEL. (03) 3268-0021 (代表) FAX (03) 3268-0264

<http://www.toyo-medic.co.jp/> E-mail info@toyo-medic.co.jp

大阪支店：〒550-0002 大阪府大阪市西区江戸堀1-25-7
TEL. (06) 6441-5741 (代表) FAX (06) 6441-5745

福岡支店：〒812-0007 福岡県福岡市博多区東比恵2-2-40
TEL. (092) 482-2022 (代表) FAX (092) 482-2027

支店・営業所：名古屋・札幌・新潟・仙台・岡山

希望を、明日につなげる。



難しい症例にも対応する「技術力」と、
患者の皆様への負担を減らす「やさしさ」。
日立は、放射線治療によるサポートで、すべての方の充実した生活に、
豊かな人生に、貢献を続けていきます。

放射線治療計画ソフトウェア



RayStation

ONE SYSTEM. ENDLESS POSSIBILITIES.
3D-CRT、IMRT、VMAT、Adaptive Radiation Therapyまで斬新で高度な最適化機能により幅広い放射線治療を実現します。

販売名: 放射線治療計画ソフトウェア RayStation
医療機器承認番号: 22900BZ100014000
外国製造医療機器等特別承認取得者: RaySearch Laboratories AB
選任外国製造医療機器等製造販売業者: 株式会社日立製作所

放射線治療装置



RadixactTM シリーズ

線量出力とMVCT撮影時のガントリ回転周期向上により、患者スループット向上を実現。天板のたわみを抑制し、正確な平行移動を可能にした他、輪郭作成機能を大幅に強化しました。

販売名: ラディザクト
医療機器承認番号: 22900BZX00032000
製造販売元: 日本アキュレイ株式会社

陽子線治療システム



PROBEAT-RT

スポットスキニング照射に特化。また動体追跡照射により、体幹部の呼吸移動性臓器へ高精度な照射を実現。システム全体の設置面積を、従来製品[※]の約7割に縮小しています。

医療機器承認番号: 22600BZX00068000

※比較対象製品: 陽子線治療システムPROBEAT-III

●PROBEATは株式会社日立製作所の登録商標です。●RAYSTATIONはレイサーチラボラトリーズ・アーベアの登録商標です。●Radixactはアキュレイ インコーポレイテッドの登録商標です。

快速計画

高精度放射線治療計画装置

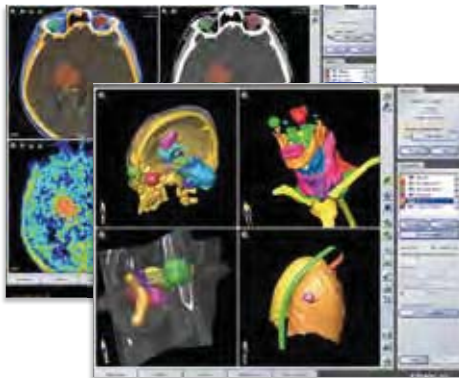
iPlan[®]

iPlan は定位放射線治療や強度変調放射線治療 (IMRT) のプランニングを優しくサポート。

病変部の特定や危険臓器の輪郭の作成、線量計算などを簡単な操作で実現します。

病変部・危険部位抽出ソフトウェア

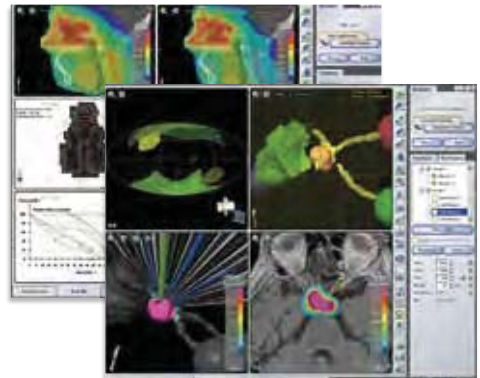
iPlan[®] RT Image



- 定位ローカライザー対応
- 洗練された Image Fusion
- Automatic Segmentation による自動輪郭作成に対応

線量計算ソフトウェア

iPlan[®] RT Dose

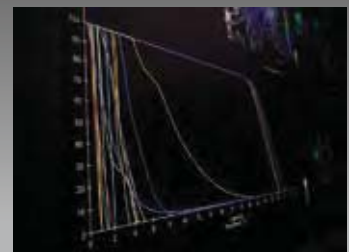


- 多彩な治療計画に対応
- X線モンテカルロ法に対応
- 強度変調放射線治療 (IMRT) に対応

多発性転移性脳腫瘍治療専用 治療計画ソフトウェア

Multiple Brain Mets SRS

Single isocenter & Multi Dynamic conformal arc inverse planning software



 **BRAINLAB** www.brainlab.com

ブレインラボ株式会社

〒108-0023 東京都港区芝浦 3-2-16 田町イーストビル 2F

TEL. 03-3769-6900 FAX. 03-3769-6901 jp_sales@brainlab.com

製品の仕様は予告なく変更されることがあります。

販売名: iPlan ステーション

iPlan RT Dose

Multiple Brain Mets SRS

医療機器承認番号: 22000BZX01548000

医薬品医療機器等法の経過措置品

医薬品医療機器等法の経過措置品



家庭から宇宙まで、エコチェンジ。

**MITSUBISHI
ELECTRIC**
Changes for the Better

変える。 三菱電機

放射線治療の最先端、粒子線照射。

体内奥の病巣のみをピンポイントで捉える技術が、
次世代の医療を変える。

メスを使わないため痛みが少なく、生活の質を維持しやすいとされる放射線治療。その中でも近年特に注目されているのが、粒子線照射による方法です。それは、体内奥の病巣へピンポイントで粒子を照射することにより、周囲の正常な細胞への影響を抑えられる治療方法です。三菱電機は、粒子を秒速20万キロ（光速の約7割）まで加速させるシンクロトロンや、制御に関する多くのノウハウを基に粒子線治療装置の業界をリード。これからも先端技術を駆使し、新しい医療機器の開発に貢献していきます。

※写真提供：一般財団法人津山慈風会 津山中央病院様 ▶

岡山大学・津山中央病院共同運用
がん陽子線治療センター 治療室



三菱電機は「グローバル環境先進企業」へ

No. 82

粒子線照射技術

©この広告のビジュアルは、合成によるイメージです。 ©この広告についてのお問い合わせは、adv.webmaster@rl.MitsubishiElectric.co.jpまたはFAX,03-3218-2321（宣伝担当）まで。

三菱電機株式会社

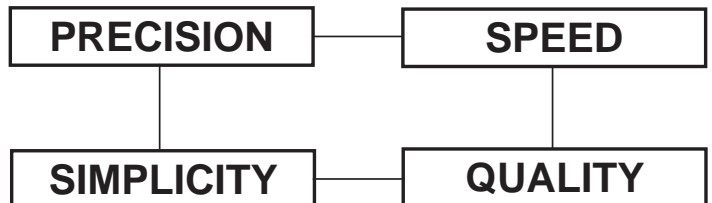


PTW BEAMSCAN™

次世代型 3D 水ファントム



自動化によるセットアップの再現性と
時間短縮を実現し、信頼性の高い測定
データの取得が可能！



輸入販売元

Euro Meditech
ユーロメディテック株式会社
<http://www.euro-meditec.co.jp>

本社： 〒 141-0022

東京都品川区東五反田 2-20-4 NMF 高輪ビル 8F

TEL:03-5449-7585 / FAX:03-5449-0234

大阪支店： 〒 530-0041

大阪府大阪市北区天神橋 1-15-7 クリスタルビル 4F

TEL:06-4800-3060 / FAX:03-4800-3061

「平成29年度放射線医学オープンスクール報告書 ～最先端技術にふれる～」

発行：公益財団法人 医用原子力技術研究振興財団
103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町 7-16 ニッケイビル 5 階
TEL 03(5645)2230 FAX03(3660)0200
HP：<http://www.antm.or.jp/>
E-mail：info@antm.or.jp