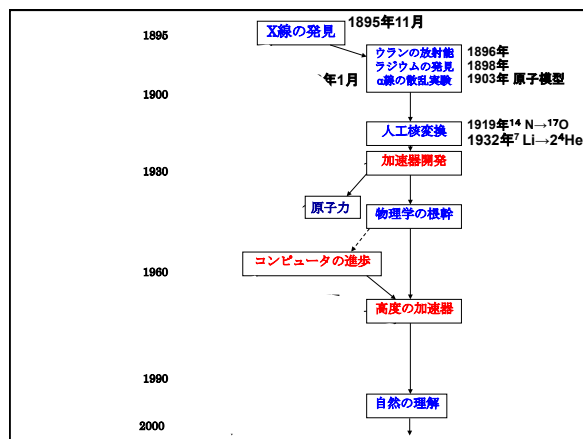


加速器開発とがん治療への応用

発展の歴史 → 現在 → 将来展望

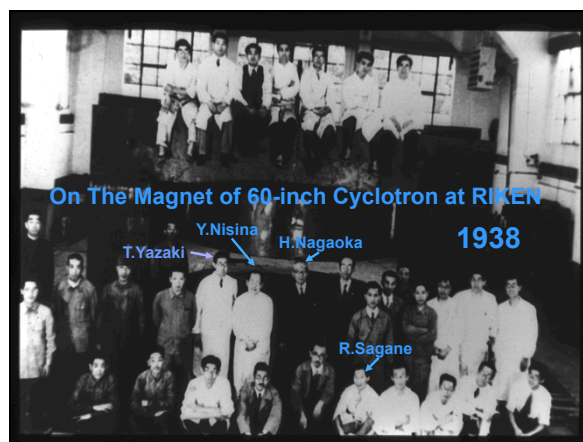
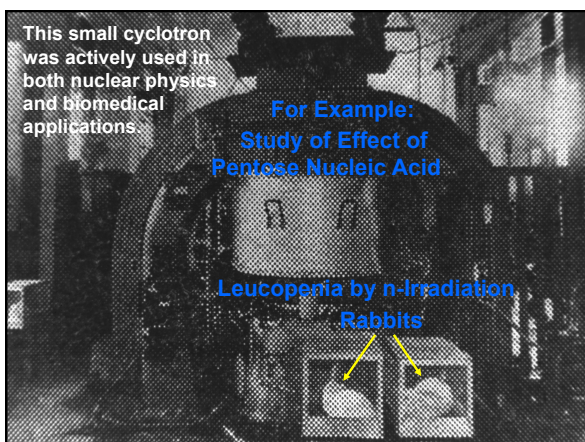
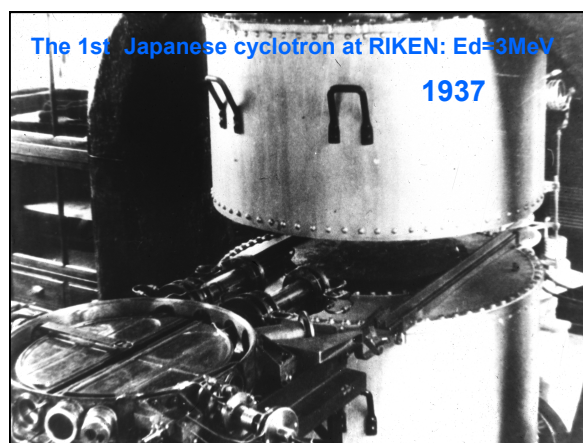
HIMAC: 構想→成果→展望

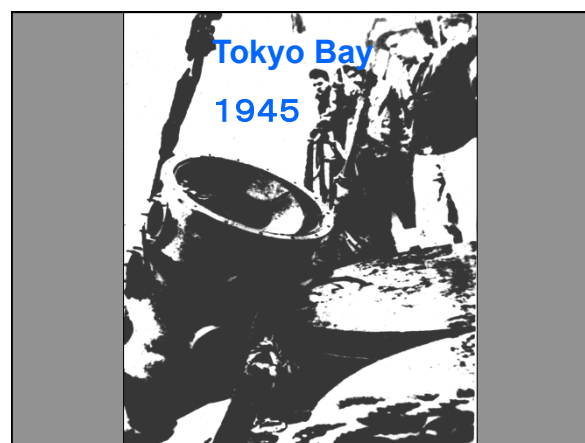
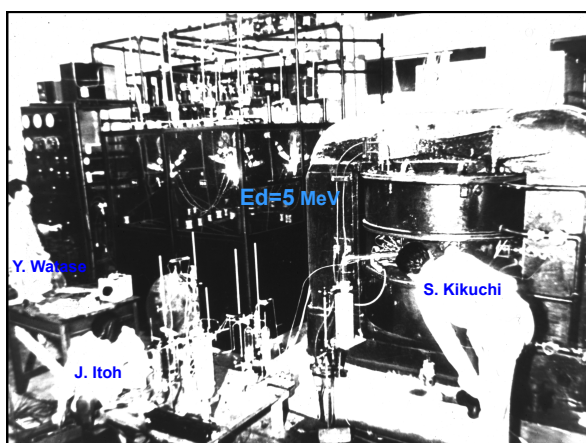
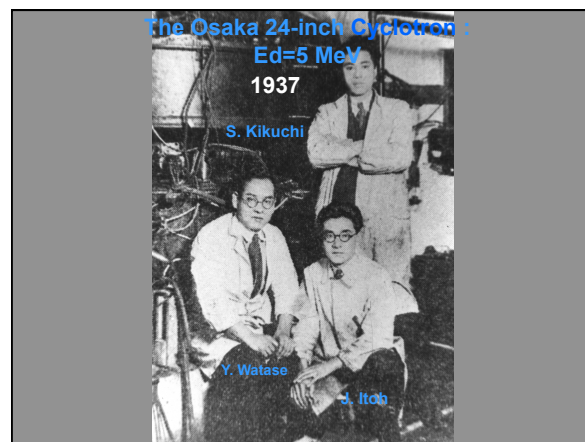
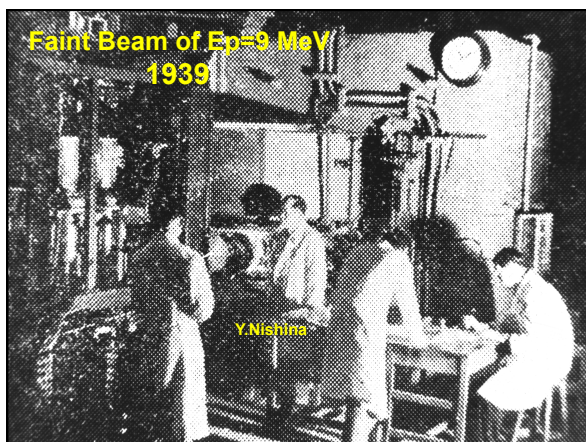
平尾 泰男



加速器科学の進歩

戦前→阪大理学部→東大原子核研究所
→放射線医学総合研究所





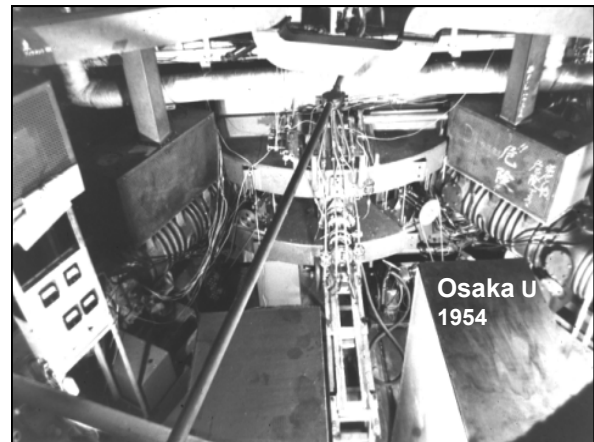
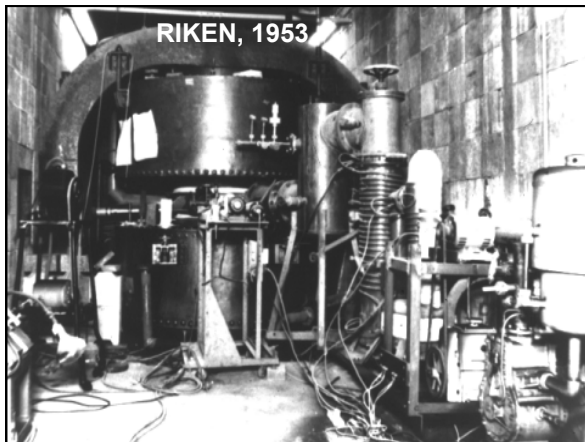
原子核物理学 (上、下)
菊池 正士、伊藤 順吉、若槻 哲雄、小田 幸康

序

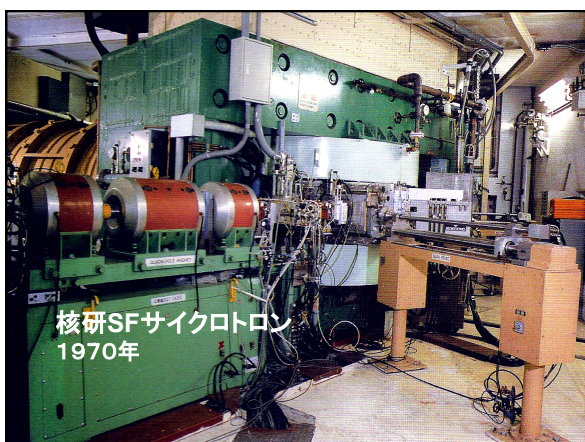
戦中から戦後にかけて、我が国の原子核研究がストップ状態にある間に、米英のこの方面の研究は著しく発達した。今後も研究は政治的にも経済的にも著しく制限を受けるであろう。しかし、原子核物理学を除いて物理学はない。どんな困難をも克服して研究を続けたい。

研究の再出発に当たって、米英の研究成果と技術を十分に知らねばならない。そこで、1948年までにようやく知りえた文献を調査し、まとめたのが本書である。

昭和24年 5月 (1949年)



1947年 伊藤順吉・小林大二郎 マイクロトロン原理発明
 1952年 北垣敏男 機能分離型強収束シンクロトロン提案
 高エネルギー化のための
 カスケードシンクロトロン提案
 1954年 阪大シンクロトロン完成を祝って
 R.ウィルソン阪大理学部訪問
 1960年 核物理研究センター(RCNP)・AVFの検討始まる
 1961年 第2室戸台風・中之島壊滅⇒待兼山移転
 1968年 熊谷地震⇒核研AVF設計⇒核研SFと改名、
 1969年 RCNP・AVF予算内示、三菱、東芝、日立、**無関心**
 RCNP・AVF・製作メーカー探しに奔走、
 JSW**無理解**、最後に**住重を発掘**、



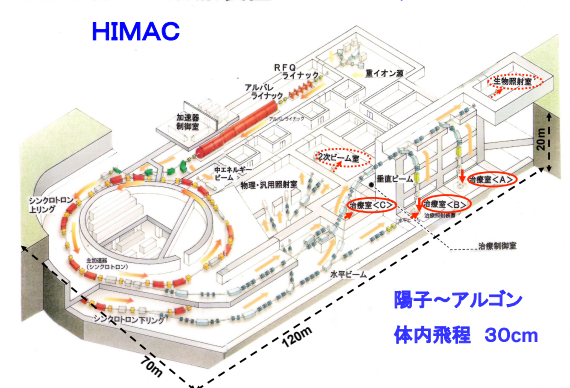
1977年当時、**強集束型・重イオンシンクロトロン**は、世界的に実現していなかったので、わが国の加速器物理学者達は**実現困難**と決めつけた。東大原子核研究所では、各種のR&Dが実行された。**重イオン源、RFQライナック、重イオン蓄積リング・強集束シンクロトロンへの多重入射・高周波蓄積、確率冷却、電子ビーム冷却、超高真空、広帯域高周波加速空洞、等々。**

LITL,TALL,TARN1,TARN2の試作

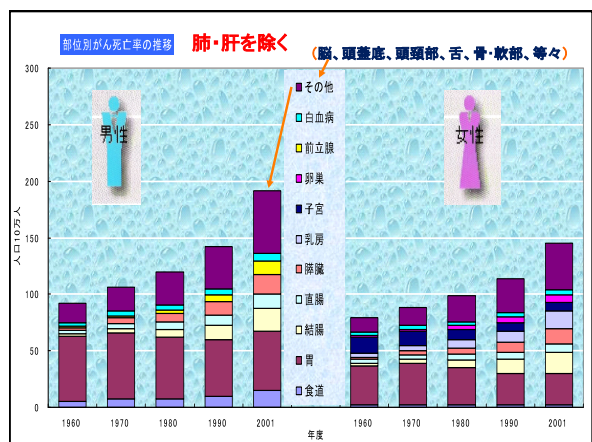
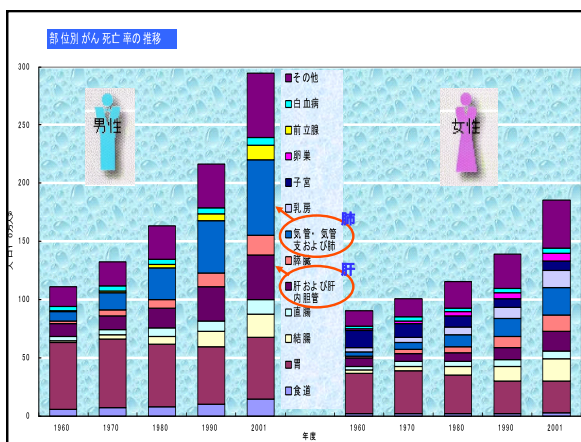
やがて、その実現性は**世界的に確信**されるにいたり、GSI(ドイツ)では基礎科学研究用**強集束型・重イオンシンクロトロン・重イオン蓄積リング**の建設を開始した。
Dr. Eickhoff 当時の核研留学生、現在GSI副所長

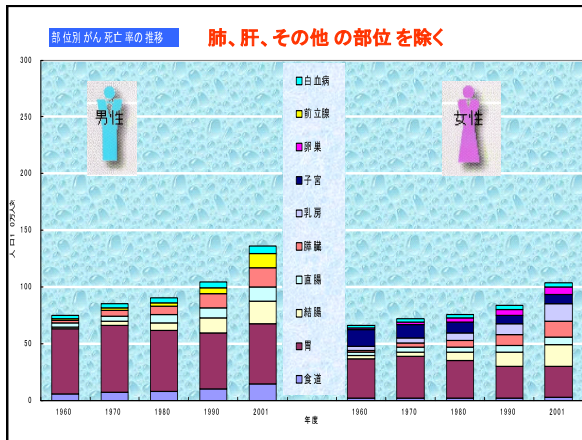
1946	R. Wilson	陽子線、重粒子線のプラグピークのがん治療応用提唱
1961～	MGH・Harvard	陽子線がん治療開始 9000例
1973	J. Castro	ネオン線がん治療開始 400例
1977	平尾泰男	核物理研究用高エネルギー重イオン加速器計画提案(含医療)
1979	平尾泰男	がん治療専用重イオン加速器計画提案 (含基礎研究)
1981	梅垣洋一郎	せめて陽子線からでも開始するよう要請 → KEK
1983～	筑波大学	陽子線がん治療開始 (2001～専用施設に移行) 700例(1300)
	中曽根内閣	対がん10ヵ年総合戦略・新治療法の開発
1987～	放医研	重粒子線がん治療装置建設開始

重粒子線がん治療装置 1993.11 完成



1946	R. Wilson	陽子線、重粒子線のプラグピークのがん治療応用提唱
1961～	MGH・Harvard	陽子線がん治療開始 9000例
1973	J. Castro	ネオン線がん治療開始 400例
1977	平尾泰男	核物理研究用高エネルギー重イオン加速器計画提案(含医療)
1979	平尾泰男	がん治療専用重イオン加速器計画提案 (含基礎研究)
1981	梅垣洋一郎	せめて陽子線からでも開始するよう要請→KEK
1983～	筑波大学	陽子線がん治療開始 (2001～専用施設に移行) 700例(1300)
	中曽根内閣	対がん10ヵ年総合戦略・新治療法の開発
1987～	放医研	重粒子線がん治療装置建設開始
1994～	放医研	炭素線がん治療開始 (17年経過) >6000例
1997～	GSI	炭素線頭頸部がん治療開始 300例
2000～	国立がんセンター東病院	陽子線がん治療開始 500例
2002～	兵庫県粒子線治療センター	陽子線がん治療開始 1400例
2003, 11	放医研	炭素線がん治療・高度先進医療承認
2003～	静岡県がんセンター	陽子線がん治療開始 300例
2005～	兵庫県粒子線治療センター	炭素線がん治療開始 140例





(3人に1人ががんで死亡)

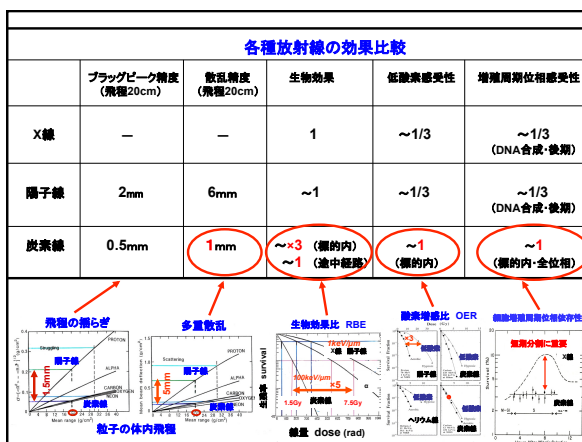
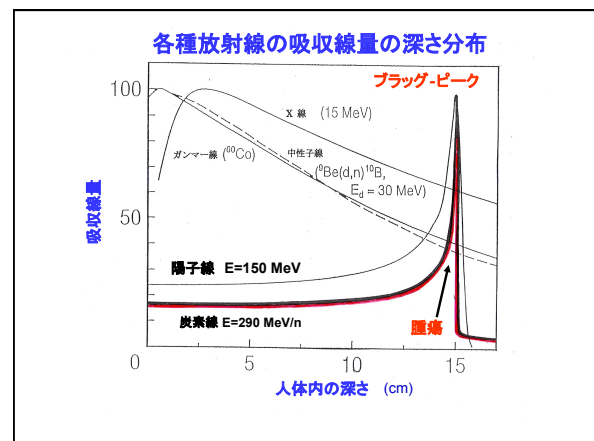
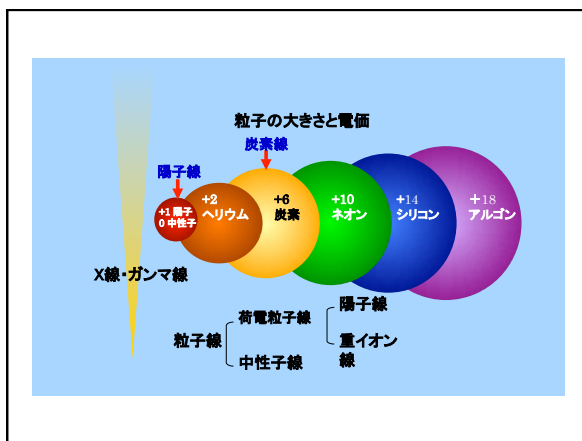
日本人は、**年間30万人**ががんで死亡！！

近年のがん死亡者の急増の主たる要因である**肺がん、肝がん等**が短期間の治療で根治できるなら??

治療法のない難治がん(**切除困難な骨肉腫、悪性黒色腫、等々**)が根治できるなら??

患者にとっても、社会にとっても、そのメリットは計り知れない！！

これらが可能であることを実証したのが、
放射線医学総合研究所の**炭素線がん治療**！！

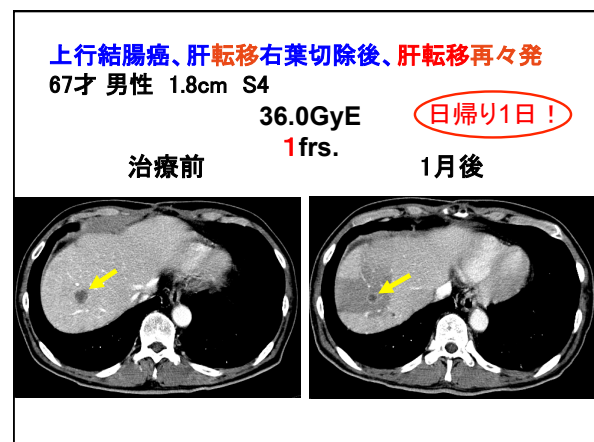
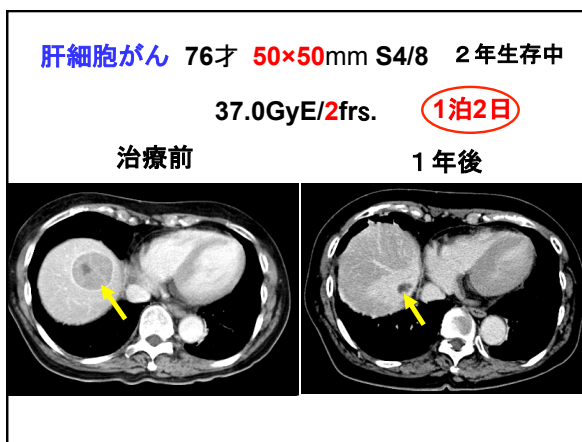
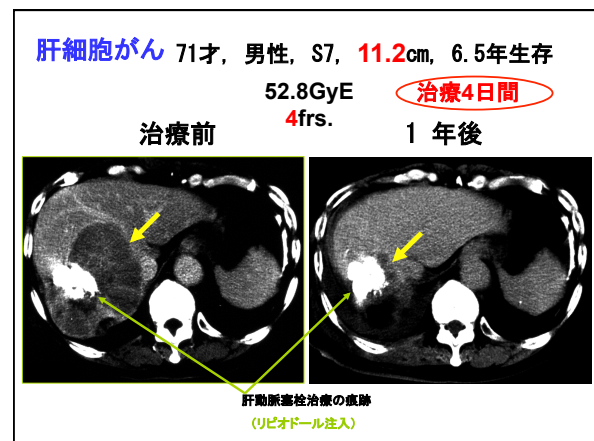
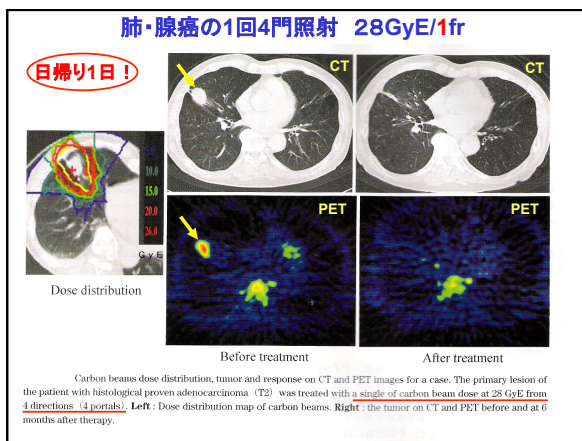
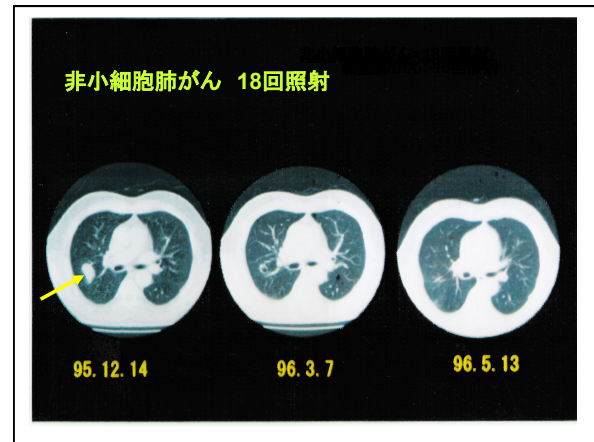
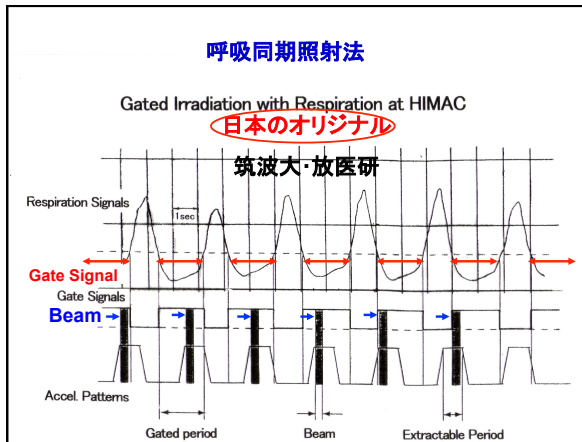


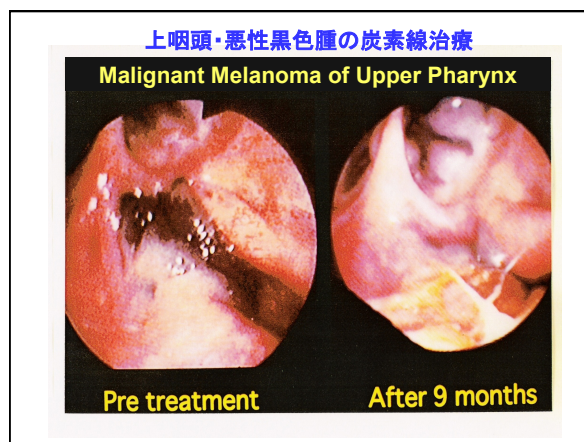
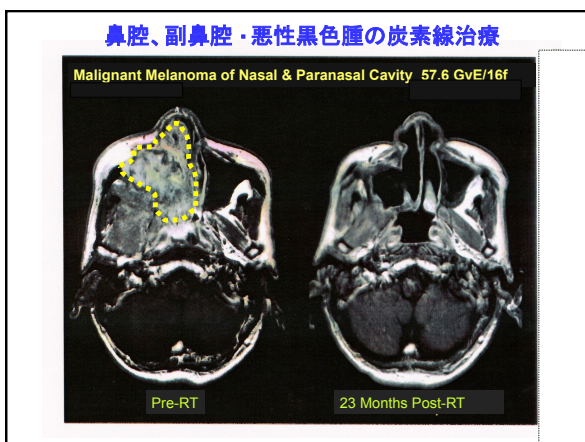
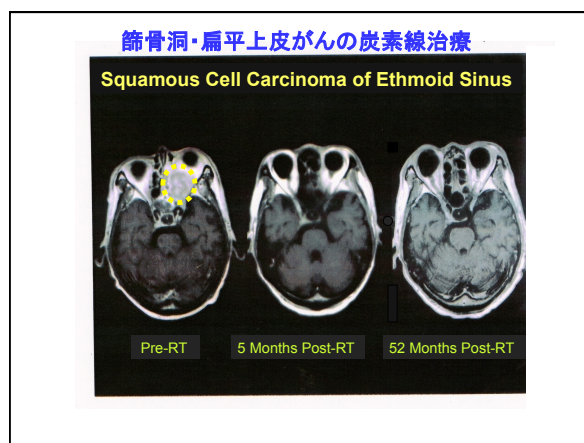
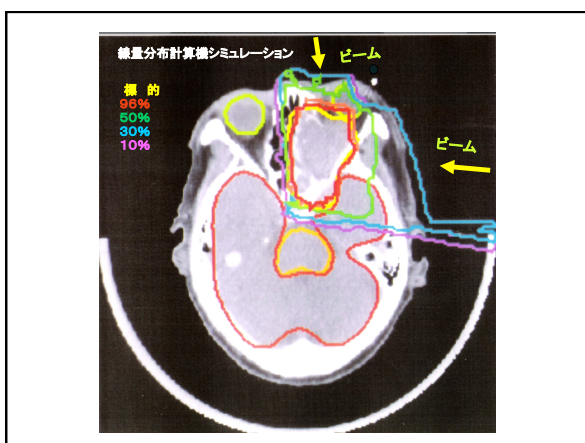
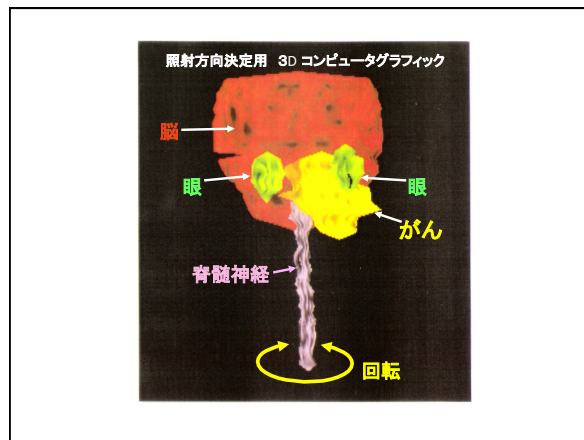
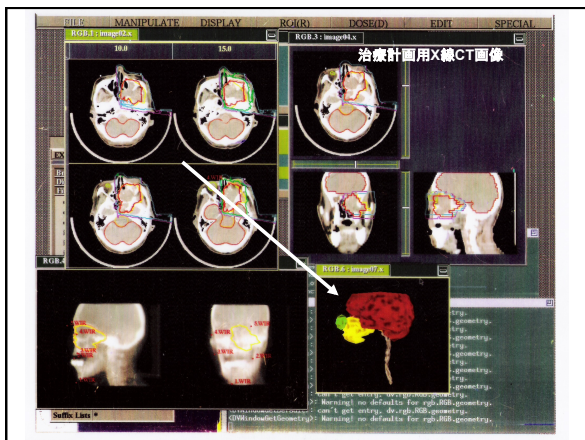
炭素線治療の総線量(GyE)・分割照射回数

部位	総線量	分割回数
前立腺	66	20→16→12
頭頸部	58	16
骨・軟部	70	16
肝	53→36	4→2→1
肺	52→28→42	4→1

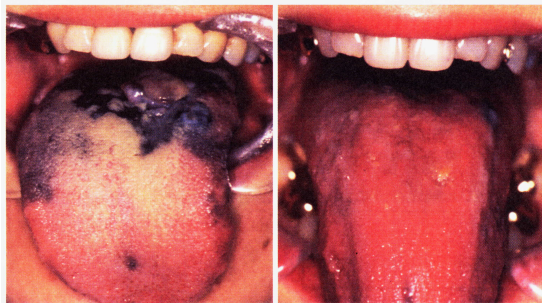
E~3

X線、陽子線は 60 Gy / 30~40回が標準的治療





舌根部・悪性黒色腫の炭素線治療



舌根部の悪性黒色腫。治療後、腫瘍の黒っぽい色はほぼ消失している。

子宮頸がんの炭素線治療

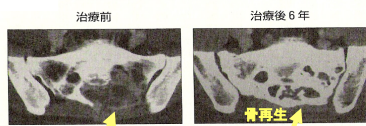


治療前
(矢印の範囲が腫瘍)

治療後
(腫瘍は消失)

切らずに治すがん、重粒子線治療が良くわかる本
辻井博彦、遠藤真広著より

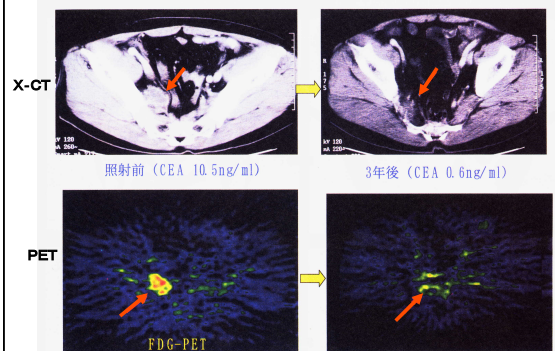
●骨肉腫の治療例（15歳・男性）



現在32歳、高校教師

仙骨原発。CT画像で、仙骨の腫瘍による破壊があったが、治療後、腫瘍は消失するとともに破壊部に石灰化が認められた。治療後も年経過し、歩行機能はほぼ正常に保たれ、普通の生活をしている。写真は、外来で歩行に異常のないことを確認しているところ。

直腸がん術後骨盤内再発の炭素線治療



直腸がん術後骨盤内再発に対する炭素イオン線治療。照射後、腫瘍縮小とともに、FDG-PETで取込みの減少が見られる。

切らずに治すがん、重粒子線治療が良くわかる本
辻井博彦、遠藤真広著より

●骨肉腫の治療例（15歳・男性）

治療前

治療後6年

骨再生

現在32歳、高校教師

仙骨原発。CT画像で、仙骨の腫瘍による破壊があったが、治療後、腫瘍は消失するとともに破壊部に石灰化が認められた。治療後も年経過し、歩行機能はほぼ正常に保たれ、普通の生活をしている。写真は、外来で歩行に異常のないことを確認しているところ。

切らずに治すがん、重粒子線治療が良くわかる本
辻井博彦、遠藤真広著より

●骨肉腫の治療例（15歳・男性）

治療前

治療後6年

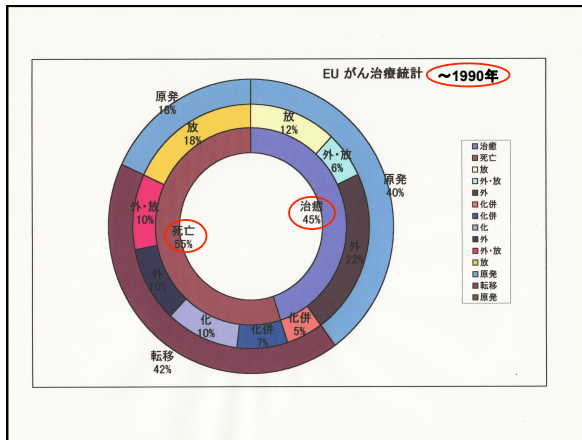
骨再生

現在32歳、高校教師

仙骨原発。CT画像で、仙骨の腫瘍による破壊があったが、治療後、腫瘍は消失するとともに破壊部に石灰化が認められた。治療後も年経過し、歩行機能はほぼ正常に保たれ、普通の生活をしている。写真は、外来で歩行に異常のないことを確認しているところ。

炭素線治療・局所制御率（1994.06～2002.02）

部位	健量(GyE)/分割回数	12ヶ月	24ヶ月	36ヶ月
頭頸部	48.8～70.2/18～18	122/155 (79 %)	72/107 (67 %)	43/71 (61 %)
中枢神経	50.4～55.2/24～18	14/18 (78 %)	9/15 (60 %)	3/11 (27 %)
悪性神経鞘腫	X-ray/50/25+0:18.8～22.4/8	24/46 (52 %)	14/38 (37 %)	5/29 (17 %)
頭頸部	48.0～57.8/16	18/18 (100 %)	14/15 (93 %)	11/12 (92 %)
食道	48.0～72.0/24～12	5/17 (30 %)		
肺	52.8～95.4/18～4(→1)	193/203 (95 %)	118/147 (81 %)	69/98 (72 %)
経膈	45.8/12	3/3 (100 %)		
肝臓	48.0～78.5/15～4(→2)	114/122 (93 %)	71/86 (83 %)	52/67 (78 %)
膵臓	44.8/16	6/6 (100 %)	1/1 (100 %)	
前立腺	54.0～72.0/20(→18)	168/168 (100 %)	121/121 (100 %)	83/83 (100 %)
子宮	52.8～72.8/24～20	44/70 (63 %)	36/62 (58 %)	25/45 (56 %)
骨・軟部	52.8～73.8/16	101/110 (92 %)	72/89 (81 %)	45/64 (70 %)
直腸(術後)	67.2/16	9/10 (90 %)		
眼(悪性黒色腫)	70.0/5	8/8 (100 %)		
総合	48.0～80.0/20～8	109/127 (86 %)	66/91 (73 %)	36/62 (58 %)
合計		940/1087 (86.5 %)	569/757 (75.2 %)	384/544 (68.9 %)



最近の臨床パイロットスタディー

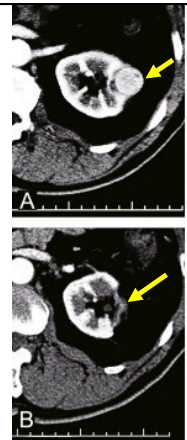
腎がんの炭素線治療のCT画像 Carbon Ion Therapy for Renal Cell Carcinoma

A: 治療前 before Treatment
72GyE/16fr

B: 5年後、腫瘍は消失
5 years after, this tumor has disappeared

腎がん治療の新方式??

現状: 切除→人工透析→生体移植



炭素線は

遠隔
精密
鋭利
無痛
無菌
反復使用
電子情報

の新しいメス!

炭素線がん治療の推移

1983年、中曽根総理が閣議決定
対がん10ヵ年総合戦略→新治療法の確立→
重粒子線がん治療装置開発(放射線医学総合研究所)

炭素線による臨床試験: 有効な治療法のない症例を対象
現在、>6000症例で有効性の高さと副作用の低さを実証

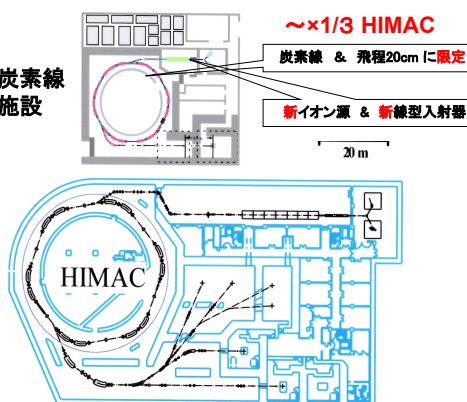
放射線医学総合研究所の実績等を基礎として
ヨーロッパ各国(ドイツ、イタリア、オーストリア、フランス、等)では
一國一施設の建設計画、アメリカでも検討開始

わが国は、15年以上のリード!!!
いまや普及、全国展開の時期に!!!

トップの走り方

そして海外へ!

普及型炭素線 治療施設

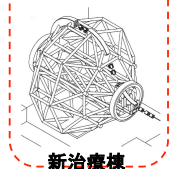


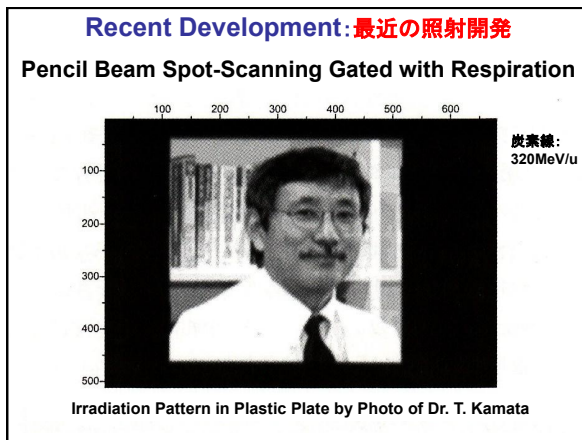
普及器 第1号: 群馬大学、完成: 2010.3、臨床試験開始

照射装置: HIMACと同様

放医研で開発中: スパイラルフレーザー法、
ラスタースキャンニング法、
超電導回転ガントリー

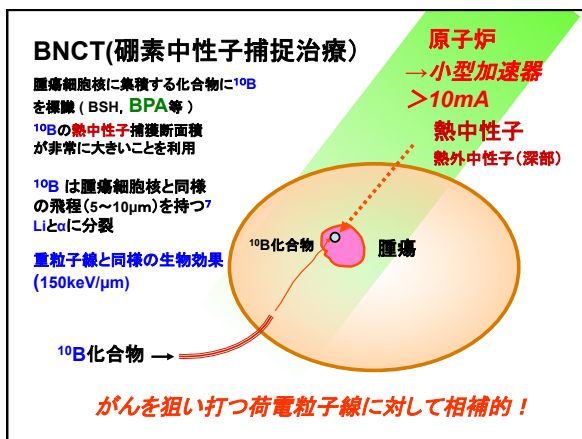
東日本大震災においても施設に問題なし





PET診断の拡張発展による分子イメージング診断

- 増殖・エネルギー代謝に応じて集積する薬剤:
メチオニン、グルコース、BPA
- 特定の腫瘍に集積する薬剤の開発
- 低酸素組織を描出する薬剤の開発
- DNA合成能を反映する薬剤の開発
- 転移能・浸潤能、抗がん剤・放射線感受性を反映する薬剤の開発
- 遺伝子発現を描出する薬剤の開発



放医研NEWS2010,09 より

高精細なMRI画像で1ミリの中皮腫の検出に成功、

マンガン造影PET画像で初期中皮腫の検出

⇒重粒子線治療

進行中皮腫⇒BNCT

中皮腫治療の新方式の開発!??

IAEA天野新事務局長の就任メッセージ:

我が国発のがん治療技術の開発途上国への導入
開発途上国では年々がん患者と診断される人数が増加。

事務局の事業として、我が国発の高度技術を
開発途上国に普及したい。

東日本大震災 死亡推定人数 :2万5千人/数100年 (大地震と大津波)

阪神淡路大震災 死亡人数:5千人/数100年 (大地震と火災)

広島原爆被曝 死亡人数 :14万人/回

がん死亡人数 :>30万人/年 (日本人3人に1人、年々増加)

危機対応として何が重要か??

がん治療施設の**安全性、設置場所、消費電力**の
選択

新政権マニフェスト・新医療産業→超党派で議論すべき課題！
重粒子線がん治療推進協議会への提案

重粒子線がん治療推進協議会への提案

理事長 平尾 泰男

- ※ 官・非官一体の推進組織形成への要請
強力に医療事業を進める上で必要な事務局の担い手として放射線医学総合研究所(以下放射医研と記す)、医用原子力技術研究振興事業(以下医用原子力と記す)等が考えられるが、これらの機関は共に監督官庁も存在するので、官・民一体の組織形成または理事長を支援するボランティア組織として下記のメンバーが事務局(先進医療フォーラムに置く)を担当する：取組(放射医研、企画担当)、北川(放射医研専任子線科医学センター普及推進室長)、田中(医用財団事務局長)、小堀(大井(東都医療大学)長・先進医療フォーラム理事)連絡担当等。

NPO法人

- ※ 推進協議会(俳吉)理事会の構成
- 放医研、兵庫東山稗子線医療センター、群馬大学、東都医療大学、国立がん研究センター、日本赤十字社医療センター、対がん協会等、日本医師会等、国立病院機構等、診療・治療機器製造メーカー等、建研関係企業等、自治体等、金融・保険関係等、日本立地センター、原産地、医用材料、等々の理事長、会長、学長、院長、社長、代表、等々で構成。
- オブザーバーを含めて**建研により追加。**

- # 下記の部会の早期発足の提案
・わが国として提唱する重粒子線医療施設構成・運用案(含開発成果)の策定(放医研重粒子線医学科学センター物理工学部、病院部、装置製造社、運転保守・治療計画を担当した加速器エンジニアリング社、施設設計企業、群馬大学、等)

- ・国内普及計画の検討【放医研との研究協力協定機関、日本立地センターで実施した「企業誘致方式における炭素線がん治療施設事業化研究会」の調査等を勘案し、それぞれの課題を分析】（放医研、上記研究会、等）

- ・海外普及計画【放医研との研究協力協定機関、開発途上国への普及(JARA事務局－放医研－原産協会)の分析・検討】(放医研、原産協会、医国財団、等)

- ・海外からの患者受け入れの体制検討（適応診断基準、インフォームドコンセント、ビザ発給、医療費、医療機関選択、等々）（放医研、兵庫県立粒子線医療センター、群馬大学重粒子線医学推進機構、医国財財、等）

- ・ 人材育成 実施中の文科省委託人材育成5ヵ年プログラム(医用財団、放研研、兵庫県立粒子線医療センター、国立がん研究センター東病院、筑波大学がん医療利用研究センター、静岡県立がんセンター、若狭湾エネルギー研究センター、**大阪大学医学部**)の成果を基礎に、新たに群馬大学等を加えた特設的な粒子線**On the Job Training** 人材育成組織・大学院大学の開設(上記8機関、群馬大学、東部医大等、等)