

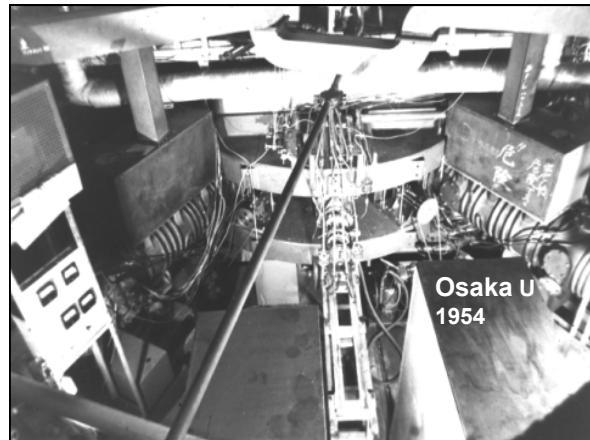
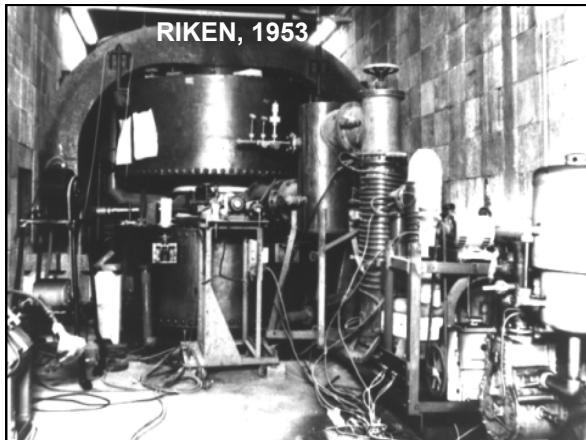
原子核物理学（上、下）
菊池 正士、伊藤 順吉、若槻 哲雄、小田 幸康

序

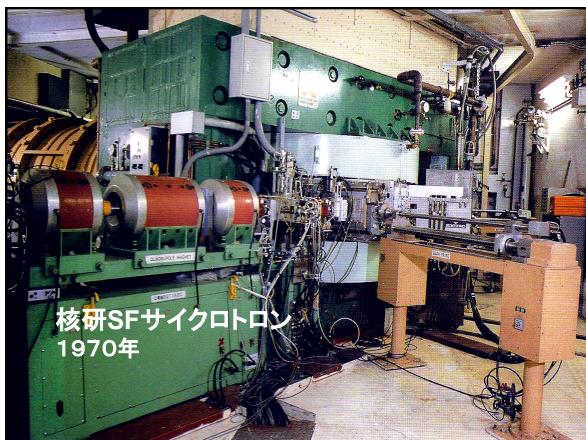
戦中から戦後にかけて、我が国の原子核研究がス
トップ状態にある間に、米英のこの方面的研究は著し
く発達した。今後も研究は政治的にも経済的にも著し
く制限を受けるであろう。しかし、原子核物理学を除い
て物理学はない。どんな困難をも克服して研究を続け
たい。

研究の再出発に当たって、米英の研究成果と技術
を充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 阪大サイ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、最後に住重を发掘、



<p>粒子線治療の進歩 1997年</p> <p>イタリアの高エネルギー 物理学者</p> <p>巻頭言 R.Wilson</p>	<p>Advances in Hadrontherapy</p> <p>Ugo Amaldi, Boerge Larsson and Yves Lamoigne, Editors</p>  <p>Excerpta Medica International Congress Series 1144</p>
---	--

卷頭言の要約 R. Wilson博士

「…バークレーでの大学院時代、将来どこかの大学で静かな研究生生活を送るを考えていた。ウランの核分裂の発見がその考えを無茶苦茶にしてしまった。フェルミの原子炉開発を手伝った後、ロスアラモスのマンハッタン計画に参加し、ハーバード大学のサイクロトロンを盗みにいった。

…(中略)…やがて戦争も終わり、同大学の助教授になり、それを返せという立場になったが、ロスアラモスの仲間達はそれを残すことを主張して譲らなかった。結局、グローブス将軍(マンハッタン計画の責任者)は10倍の大きさのサイクロトロンの予算を付けるとの提案となった。そして古巣のバークレーで(陽子150MeV、体内飛程15cm)のシンクロサイクロトロン設計を手伝うことになった。

物理学者も放射線医学学者もみな反対したが、私にはその仕事を続ける理由があった。どんなに正当化しようとも、過去5年間人々を殺すための仕事をして来た。広島で原子爆弾が使われたときに、私の心中ではっきりしたこと、それは今後、人を殺すのではなく、**人を救うことを考える**、それが仕事を続ける原動力だった。…(後略)…」

「高速陽子線の放射線医学応用」

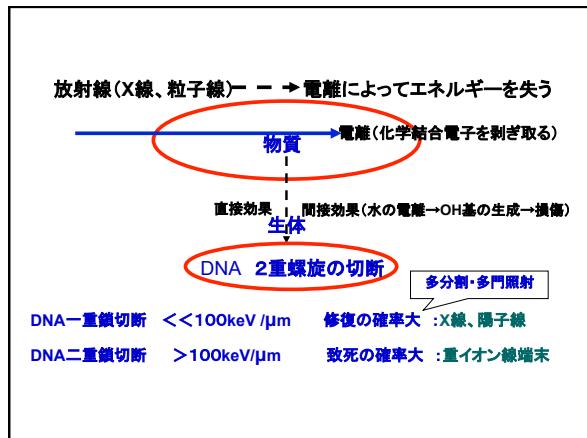
1946年 ラジオロジー誌 発表論文の要旨

最初の高エネルギーシンクロサイクロトロンが建設中である。
加速陽子のエネルギーは**体内飛程**を十分に持っている。
飛程末端よりも高エネルギーの入射領域での電離密度は少ない。
この事が体内的特定の領域を強く照射できる。

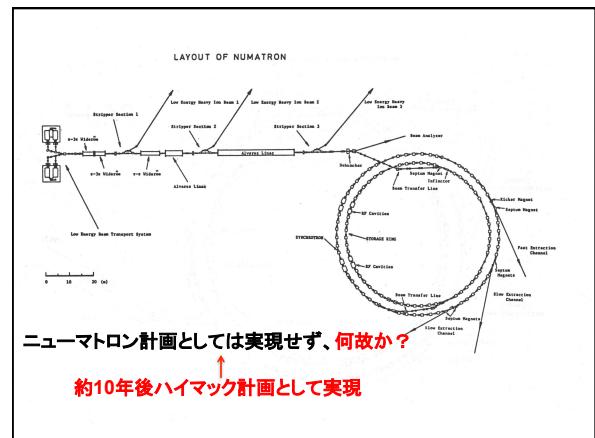
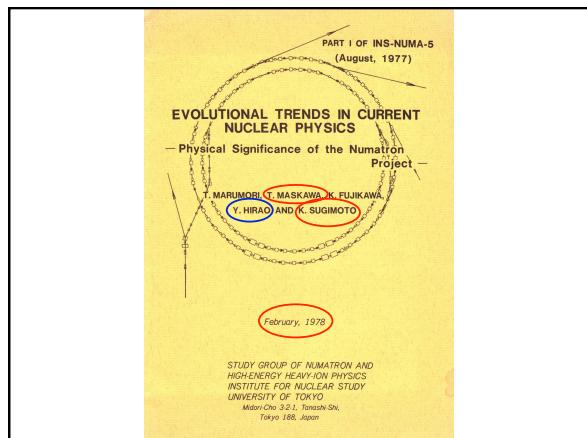
アルファ粒子が高エネルギーに加速されるならば、そのもっと高い電離密度は、生物効果を考えると、一層臨床的には望ましいだろう。そして特定の場所で、**ストラグリングと角度の広がり**は陽子の1/2である。

高エネルギー炭素原子核のような重イオン原子核が結局臨床で実用的になるであろう。

60年以上昔の物理学者の予言



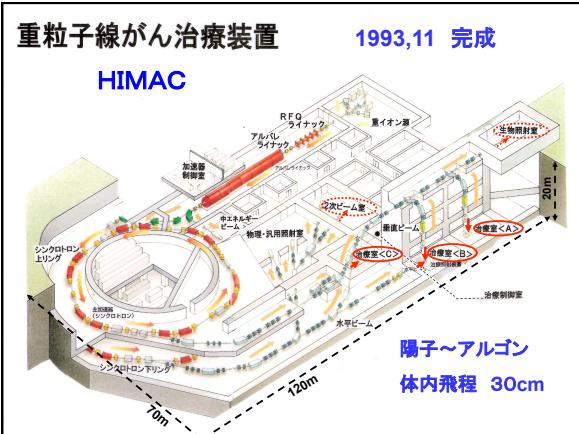
1946	R. Wilson	陽子線、重粒子線のプラグピークのがん治療応用提唱
1961～	MGH+Harvard	陽子線がん治療開始 900例
1973	J. Castro	ネオン線がん治療開始 400例
1977	平尾泰男	核物理研究用高エネルギー重イオン加速器計画提案(合医療)



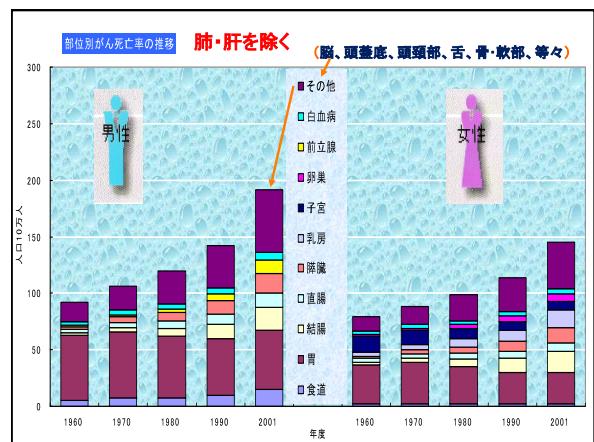
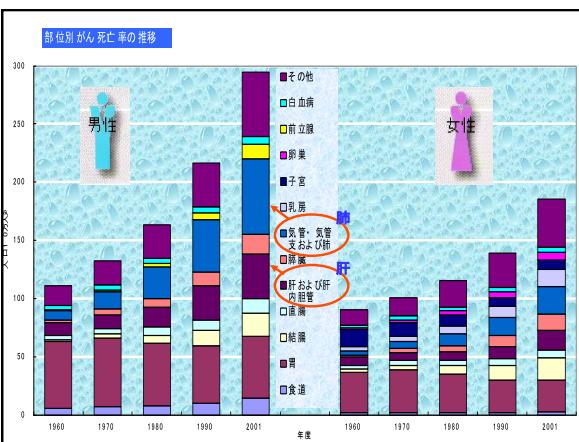
1977年当時、強集束型・重イオンシンクロトロンは、世界的に実現していなかったので、
わが国の加速器物理学者達は実現困難と決めつけた。
東大原子核研究所では、各種のR&Dが実行された。
重イオン源、RFQライナック、重イオン蓄積リング・強集束シンクロトロンへの多重入射・高周波蓄積、確率冷却、電子ビーム冷却、
超高真空、広帯域高周波加速空洞、等々。

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、重粒子線のプラグビークのがん治療応用提唱
1961～	MGH+Harvard	陽子線がん治療開始 900例
1973	J. Castro	ネオングン治療開始 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 中曾根内閣	陽子線がん治療開始(2001～専用施設に移行) 700例(1300) 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



1946	R. Wilson	陽子線、重粒子線のプラグビークのがん治療応用提唱
1961～	MGH+Harvard	陽子線がん治療開始 900例
1973	J. Castro	ネオングン治療開始 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 中曾根内閣	陽子線がん治療開始(2001～専用施設に移行) 700例(1300) 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人ががんで死む)

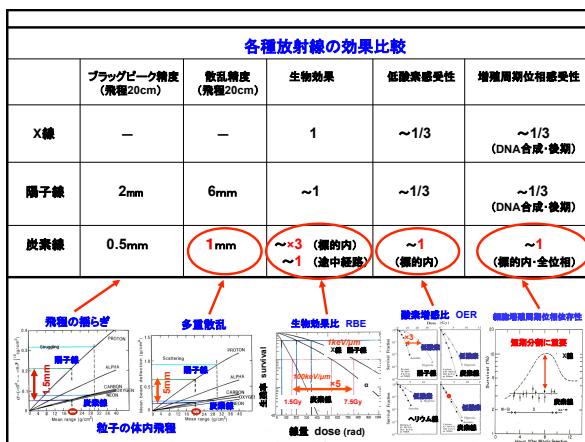
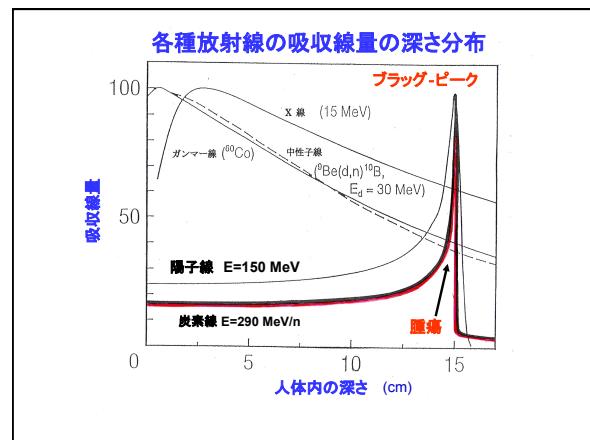
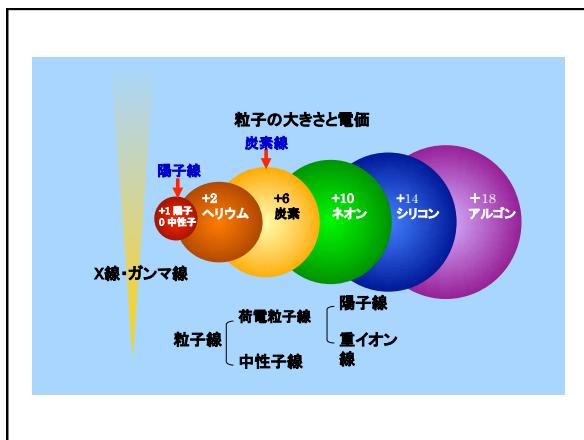
日本人は、年間30万人ががんで死む！！

近年のがん死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！！

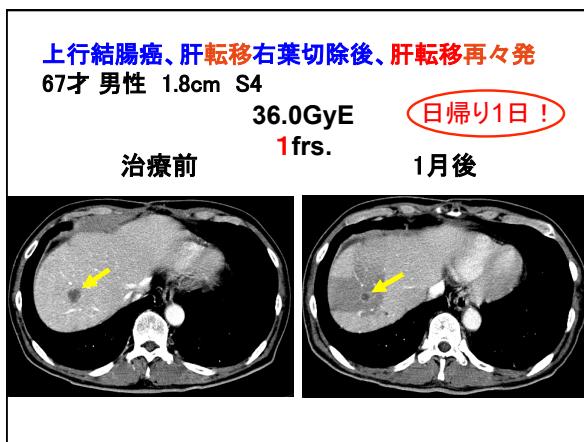
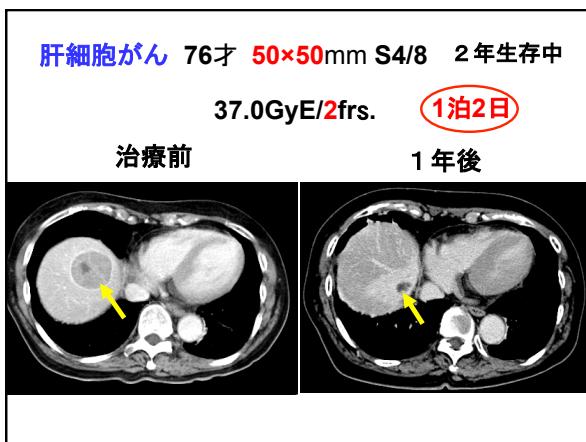
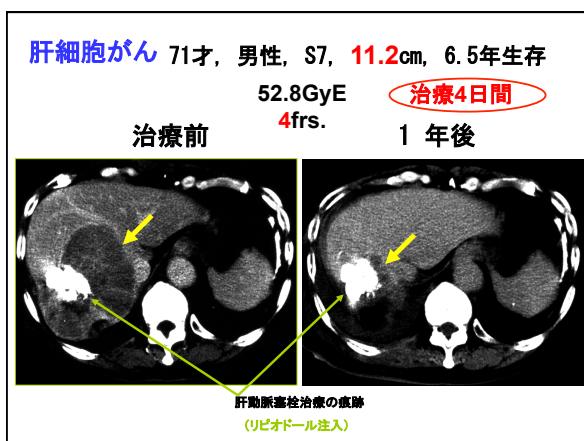
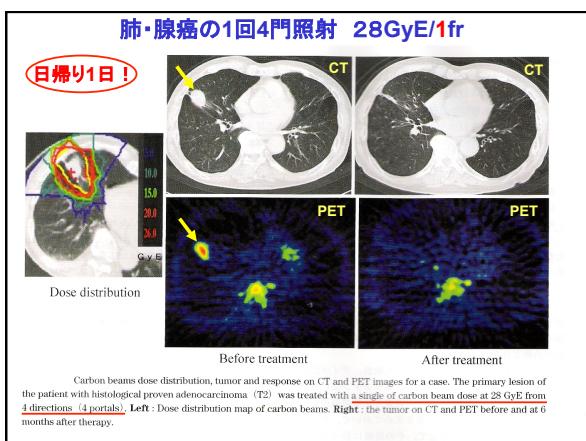
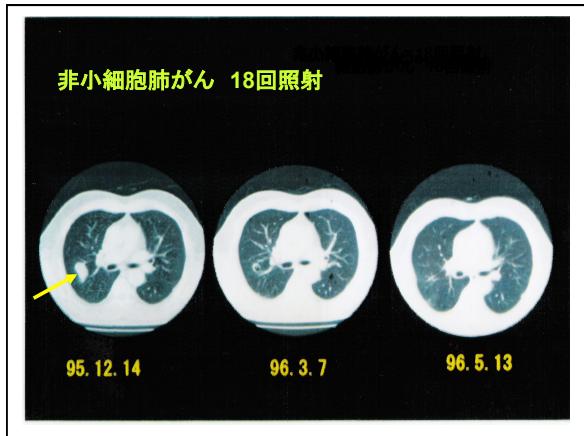
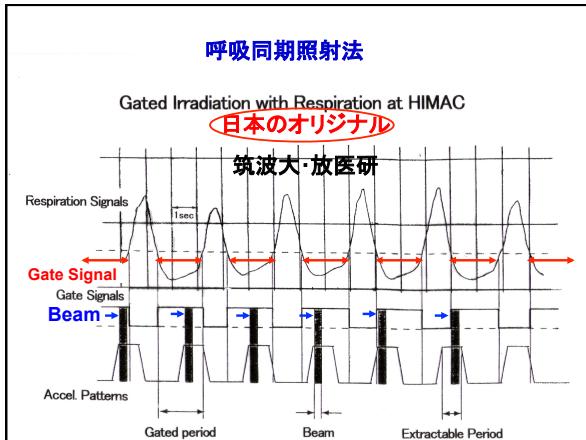
これらが可能であることを実証したのが、
放射線医学総合研究所の炭素線がん治療！！

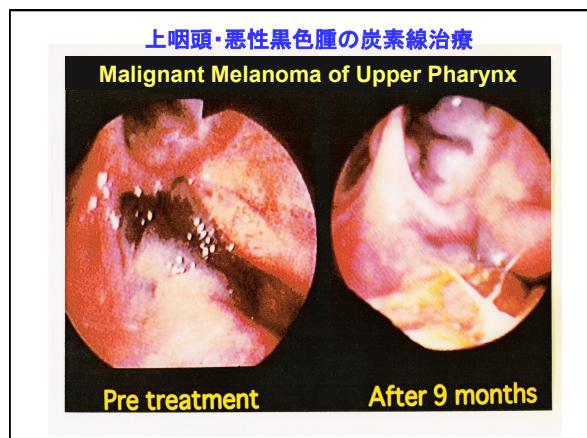
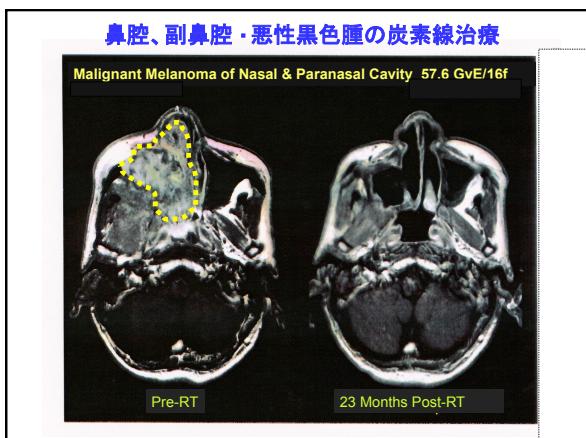
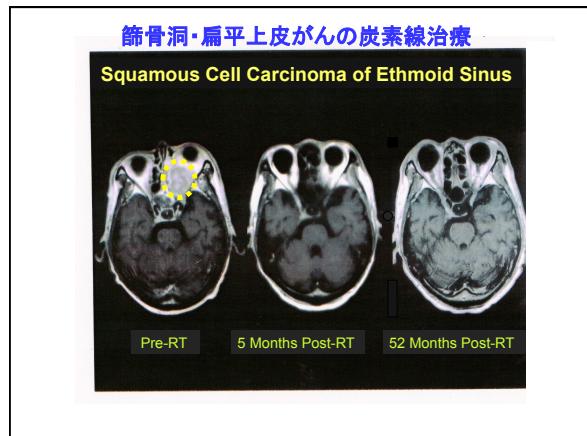
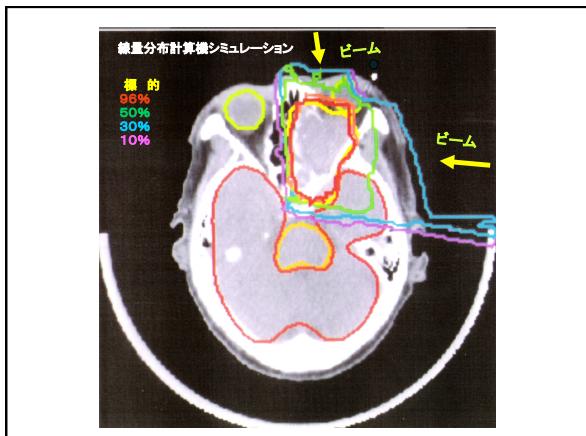
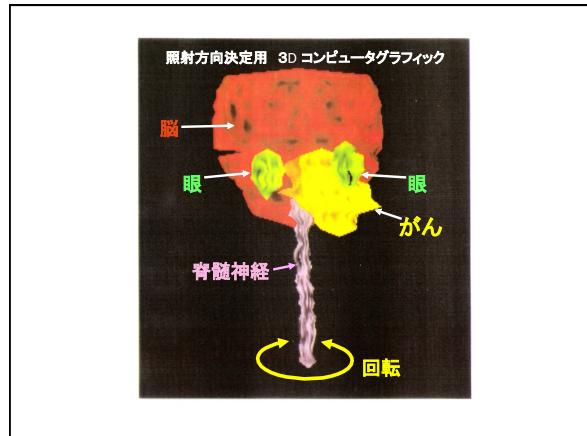


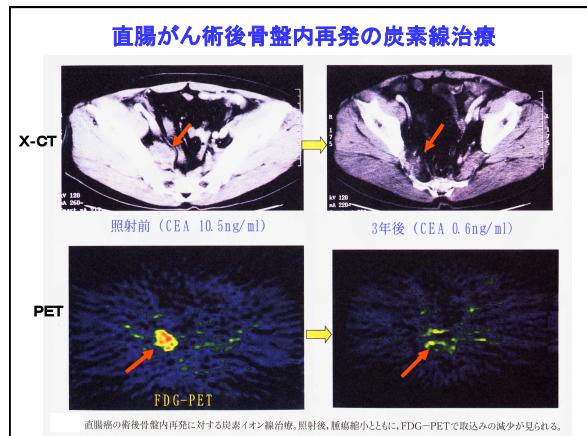
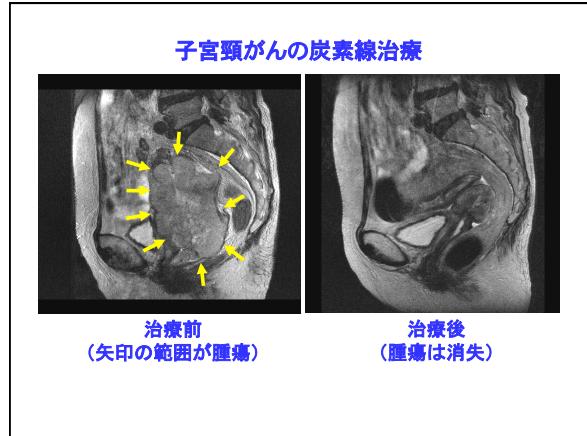
炭素線治療の総線量(GyE)・分割照射回数		
部位	総線量	分割回数
前立腺	66	20→16→12
頭頸部	58	16
骨・軟部	70	16
肝	53→36	4→2→1
肺	52→28→42	4→1

E~3

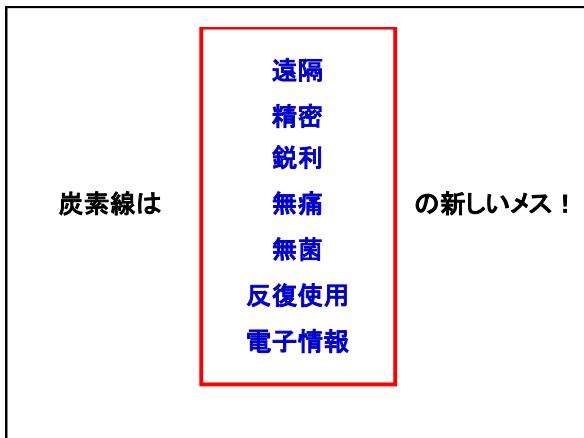
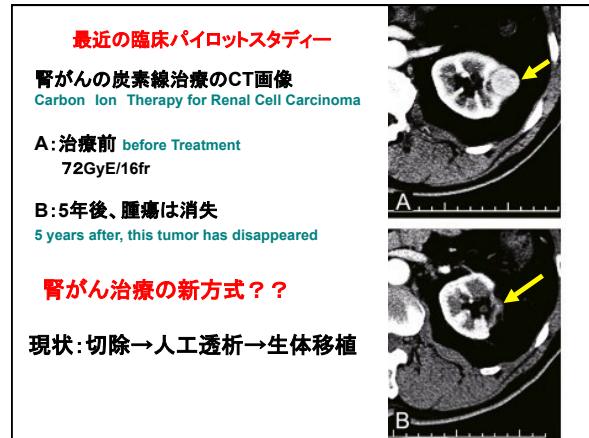
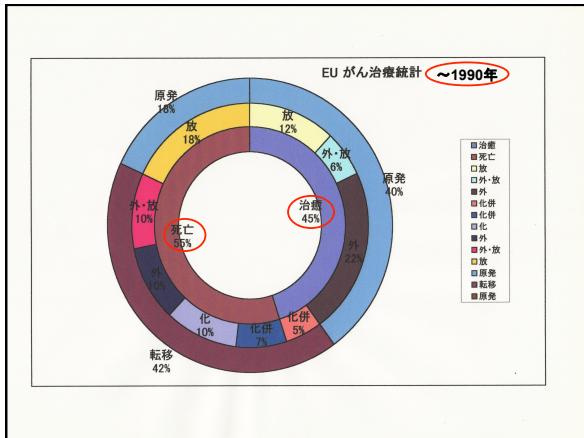
X線、陽子線は 60 Gy / 30~40回が標準的治療







炭素線治療・局所制御率(1994.06~2002.02)				
部位	録量(Gy/E) / 分割回数	12ヶ月	24ヶ月	36ヶ月
頭頸部	48.6~70.2/18~18	122/155 (78 %)	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 %)
悪性神経膠腫	X-ray:50/25+18.6~22.4/8	24/46 (52 %)	14/38 (37 %)	5/29 (17 %)
頭蓋底	48.0~57.6/16	18/18 (100 %)	14/15 (88 %)	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 %)	119/147 (81 %)	69/98 (72 %)
総癌	45.8/12	3/3 (100 %)		
肝臓	48.0~79.5/15~4(-2)	114/122 (93 %)	71/86 (83 %)	52/67 (78 %)
腎臓	44.8/16	6/6 (100 %)	1/1 (100 %)	
前立腺	54.0~72.0/20(-16)	189/189 (100 %)	121/121 (100 %)	93/93 (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 %)	72/88 (81 %)	45/64 (70 %)
直腸(術後)	67.2/16	9/10 (90 %)		
喉(悪性黑色腫)	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 %)	364/544 (66.9 %)



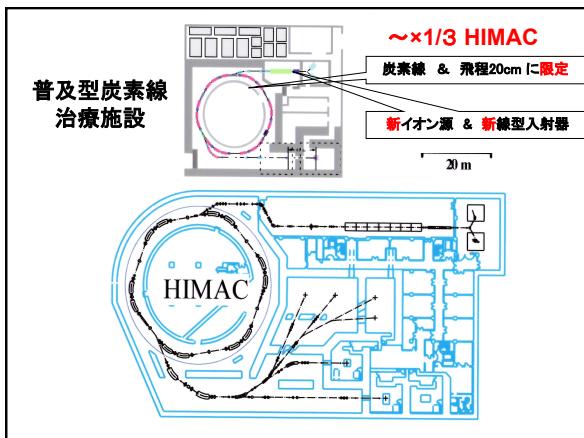
炭素線がん治療の推移

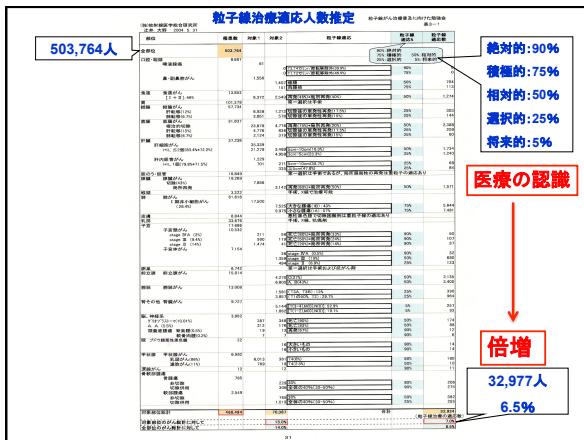
1983年、中曾根総理が閣議決定
対がん10ヵ年総合戦略→新治療法の確立→
重粒子線がん治療装置開発(放射線医学総合研究所)

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
一国一施設の建設計画、アメリカでも検討開始 **トップの走り方**

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！！！ **そして海外へ！**





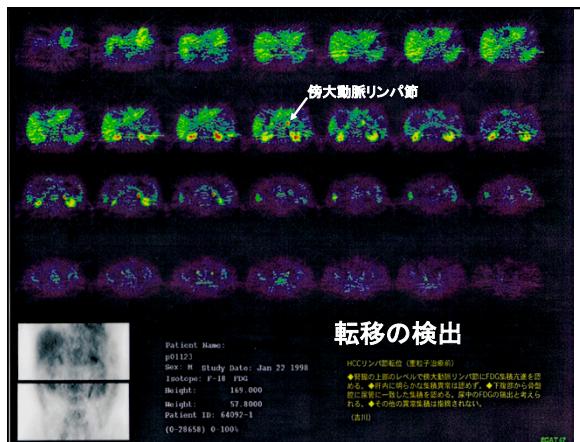
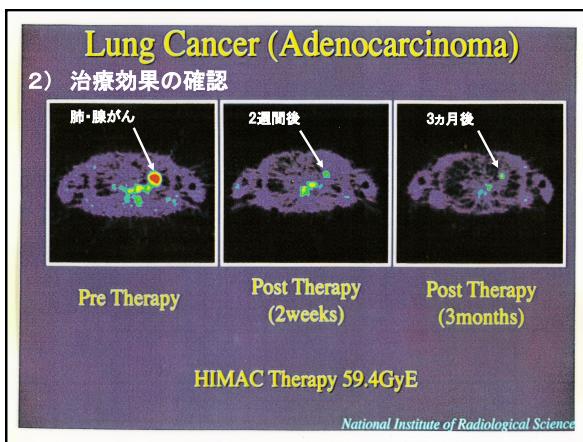
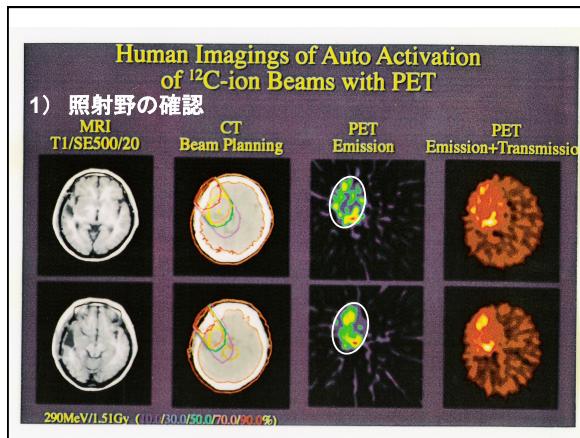
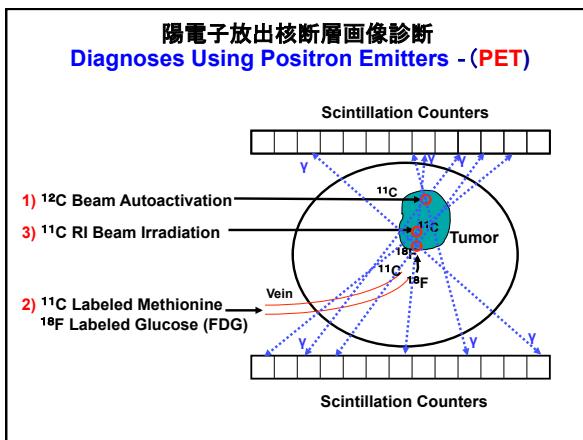
治療コストと必要施設の試算 2004年12月15日 文部科学省勉強会・抜粋

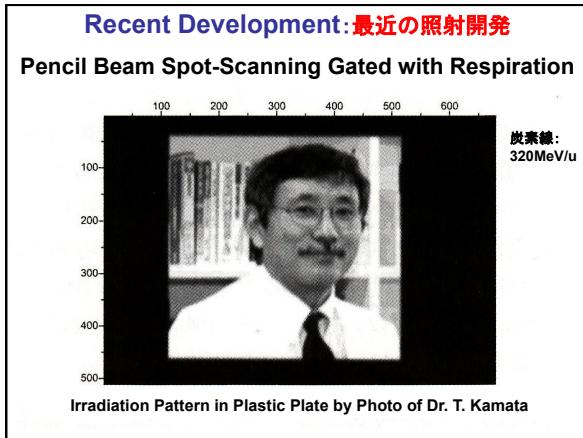
全罹患数:503,764、粒子線適応:32,977(6.5%)→倍増
適応疾患推計に放医研皮素線治療分割回数を適用:11.2回/人 →放医研実績:13回/人
治療日数/年:250、治療時間/日:6、治療室占有時間/人:0.5、治療室数:3
→照射回数/年:9,000→治療患者数/年:804 →放医研実績:800人/年
減価償却費(4.5億)・維持費・光熱水料・運営経費(6.4億)・人件費(4.7億)、計15.7億円
→治療費実費/人:211万円

集患体制が整えば採算ベース、分割回数に大きく依存、定期照射施設の拡大が必要

施設必要数の検討
施設数:32977/804=41、10ブロック、4施設/ブロック
人材供給困難→拠点5箇所からスタート

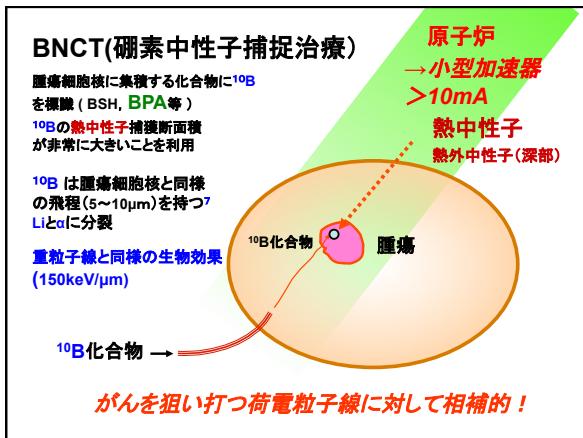
必須の要件
情報提供、人材育成、臨床試験の継続、施設間の連携、制度的課題の解決





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、グルコーズ、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

