

## Flash NEWS

### 創立 50 周年記念講演会を開催

7月20日(金)、放医研の創立50周年を記念する講演会が、東京・大手町の経団連ホールで開催されました。定員400名の会場は、ウィークデイの開催にもかかわらず、招待者・一般来場者を合わせてほぼ満員の盛況で、50周年を祝うに相応しい講演会となりました。米倉理事長の開会のご挨拶に続いて、ご来賓を代表して、徳永保文部科学省研究振興局長による暖かな励ましも含めたご祝辞があり、次いで高橋千太郎理事の「放医研の50年と現在」を皮切りに講演に入りました。高橋理事の講演は、50年の歴史を豊富な写真で綴るとともに、独立行政法人の第2期中期計画のもとに進められている現在の放医研の研究開発事業の概要を紹介するもので、長く引き継がれてきた放医研精神を改めて確認する好機となりました。

組みについて解りやすくご説明されました。特に、放医研の役割についてはこの日のために準備された画像をもとに詳しく述べられ、放医研職員としては責任の重さを再認識するご講演でした。



#### 示唆に富んだ特別講演



今回の講演プログラムは、前半の“放医研における放射線医学の取り組み”と後半の“放医研の放射線安全の取り組み”の二部構成となっており、それぞれに招待講演者による特別講演が組まれました。第一部の特別講演を担われた国立がんセンター名誉総長の杉村隆先生は、「半世紀を顧みて：がん治療の将来を想う」と題し、永年に渡りがん治療研究に取り組まれたご自身の貴重なご経験を踏まえ、示唆に富んだお話をいただきました。来場者は、杉村先生のユーモアを交えたご講演に魅了されていました。また、第二部の締めくくりで講演された原子力安全委員会委員の久住静代先生は、原子力の安全を護る視点から、さまざまな取

#### 熱心な参加者

今回の講演会は、午後1時半の開演、夕刻6時閉会という長時間であったにもかかわらず、開場1時間前にこられた熱心な一般参加者もおられました。この日は、ご招待者約200名のご参加に加え、一般の方からもほぼ同数の来場申し込みがあり、ほぼ満員の盛況。映像機材設置のため当初使用しない予定であった2階席も開放することとなりました。総じて熱心な参加者が多く引き締まった講演会となりましたが、特に、「ここまできた重粒子線がん治療」の講演では、熱心にメモをとられる来場者の方も見受けられ、同治療法への関心の高さを窺わせました。

#### 懇談会も盛況裡に

記念講演会に引き続いて経団連会館12階ダイヤモンドルームで催された、50周年記念懇談会も、盛況となりました。米倉理事長のご挨拶のあと、衆議院議員の森英介先生が駆けつけてくださり、放射線治療の重要性を述べられるとともに放医研への期待を込めたご挨拶をいただきました。徳永局長のご挨拶、杉村隆先生の乾杯のご発声と続いて、和やかな懇談の場に移りました。放医研OBの諸先生も多数ご参加され、50周年ならではの意義深い会となりました。ご多忙の中ご参加いただいた皆様にお礼を申し上げます。

目次	次
◇ Flash NEWS 創立 50 周年記念講演会を開催 …………… 1	◇放射線育種十五色 8月 金(番外)ビール麦 にらさき二条8号 … 5
◇ NEWS REPORT マイクロビーム細胞照射装置 …………… 2	◇ HIMAC REPORT 炭素線治療における線量推定法の研究 … 6
放射線影響アーカイブの研究利用に関する 国際ワークショップ開催 …………… 3	◇ NEWS REPORT 重粒子医科学センター物理学部加速器開発室の 岩田佳之さんが加速器学会で受賞 …………… 7
◇センター紹介 基盤技術センター …………… 4	◇エッセイ ばるす …………… 8

## マイクロビーム細胞照射装置で 世界トップ水準のビームサイズ (< 5 $\mu$ m) の照射を実現 個々の細胞に起きている放射線影響研究の進展に期待

### 【概要】

独立行政法人 放射線医学総合研究所（理事長：米倉義晴、以下、放医研）基盤技術センター研究基盤技術部 今関等部長らの研究グループは、静電加速器からの陽子線をマイクロビーム細胞照射装置（SPICE）により、世界トップ水準のマイクロビームサイズ（大気中で5 $\mu$ m以下）で照射することに成功しました（図1）。

これまでの放射線による影響研究は、主として対象となる生物や多くの細胞に一樣に放射線を当てることによって行われてきました。しかし一様照射では、全ての細胞に照射した粒子数がある一定の分布をもった平均値となるため、確率的な影響の研究に留まっていた。

一方、放射線リスク評価の観点から、細胞間の影響伝達（バイスタンダー効果）や細胞内での放射線影響など個々の細胞に起きている現象を直接的に解明する手法が求められており、標的細胞の核に必要な数だけ正確にかつ迅速に照射することのできるマイクロビーム照射装置の実現が期待されていました。

今回のマイクロビーム細胞照射装置（SPICE）は、5 $\mu$ m以下の細さに絞ったマイクロビームを安定的に作り出して照射することを実現したもので、標的細胞の核に陽子に必要な数だけ狙い撃ちすることが可能となりました。

陽子線でマイクロビーム細胞照射を実現したのは日本初であり、この装置によって生物の寿命や発がんなどに関わる放射線の生物影響の直接的な解明研究が、大きく進展することが期待されます。

### 【背景】

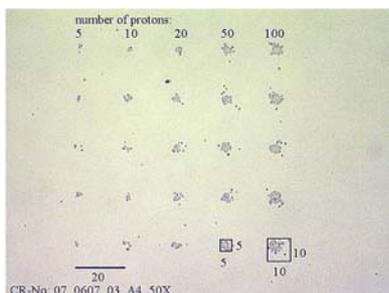
放射線影響研究は、放射線や放射性物質によって、人や環境がどのような影響を受けるのかについて調べる研究であり、放医研の主要な研究テーマとして取組まれてきています。生物が環境中で受けている微量なレベルの放射線（低線量放射線）は、生物を構成している細胞全てにあたり、全細胞に損傷を与えるわけではありません。しかし、放射線影響研究では、放射線発生装置の限界から、対象となる生物や細胞に広範に放射線を当てるを得ず、低線量放射線による発がんなどの影響がどのように発生するかについては、十分な機構解明ができていませんでした。

照射する放射線の細さが個々の細胞の大きさ以下であれば、多くの細胞の中から特定の細胞1個を選択して照射することができます。例えば、DNA損傷を受けた細胞が発がんにいたる前に修復されるのか、それとも排除されて影響が残らないのか、あるいは隣接する細胞に影響を与えるのか（バイスタンダー効果）など、様々な放射線発がんメカニズム解明に、威力を発揮できます。このような状況から、

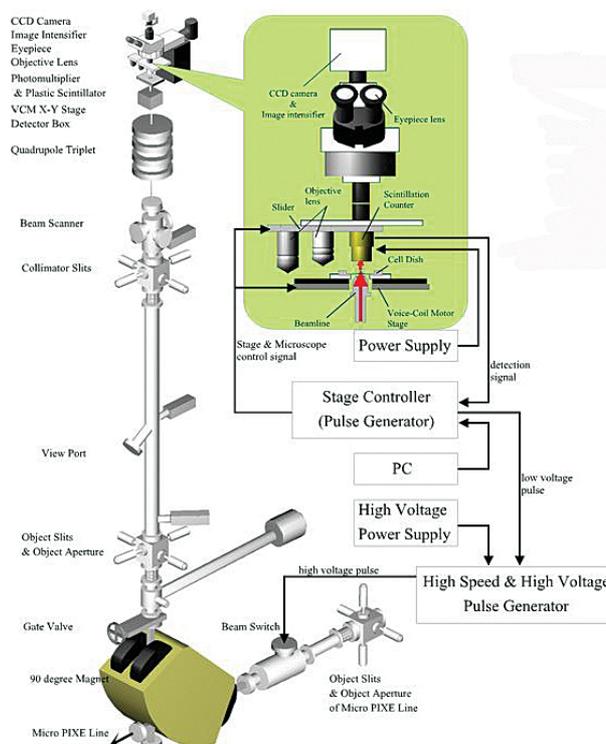
細胞一つ一つに狙いをつけて放射線を照射できる装置の開発が望まれていました。

### 【システムの概要と性能】

今回確立されたマイクロビーム細胞照射装置に用いられる加速器は、コッククロフト・ワルトン型静電加速器と呼ばれる加速器システムで、陽子（ヘリウムイオン）を1～3.4MeV（1.5～5.4MeV）のエネルギーまで加速できます。システムは、オランダのHigh Voltage Engineering Europe (HVEE)社製タンデム型静電加速器、ビーム輸送系及び放医研オリジナル設計のマイクロビーム細胞照射装置で構成されています（図2）。



（図1）陽子のマイクロビーム照射試験  
下段の数値単位は $\mu$ m  
ビームサイズ5 $\mu$ m以下を確認した



（図2）マイクロビーム細胞照射システム構成図

- 概要
- ・ 3.4MeV 陽子
  - ・ Beam size : 5 $\mu$ m
  - ・ 細胞核あたり 1 粒子から照射可能
  - ・ 最大 1.0 × 10<sup>5</sup> cells/hour を照射可能

主な仕様は、

1. 垂直上向き・大気中照射
  - ・ 細胞をシャーレ上に培養し、その状態のまま照射を行うことが可能
  - ・ 細胞観察を自然な体勢で行うことが可能
2. 収束型（三連四重極マグネット使用）マイクロビーム及び高速型ボイスコイルモータ駆動ステージ
  - ・ 1細胞核あたり 1粒子から照射可能
  - ・ 1時間あたりの最大細胞照射数は、100,000個

これらの仕様により、本システムは、5 $\mu$ m以下に絞った陽子線を、標的細胞に1時間当たり100,000細胞という高

い処理能力で照射が可能となりました。また、照射前後にオフラインの細胞観察系を持っていることも主な特徴として挙げられます。

マイクロビーム細胞照射装置に陽子線を使う理由は、世界的な粒子線生物影響研究において陽子線が標準的な粒子線であることに拠ります。なお、陽子線のマイクロビーム細胞照射装置は、我が国では初めてです。

#### 【今後の展開】

放医研では、今回実現した世界トップ水準のマイクロビ

ームサイズによる照射装置を、粒子線治療の基礎研究となる粒子線生物研究や放射線防護研究の幅広い分野で活用していきます。

また、同システムは世界に例を見ない実験施設であることから、放医研以外の研究機関から広く研究者の参画を求め、ラドン影響研究などの幅広い研究テーマへの活用を図っていきます。

基盤技術センター 研究基盤技術部長 今関 等

## NIRS-BfS 放射線影響アーカイブの研究利用に関する国際ワークショップと専門家会合

近年、過去の疫学調査や動物研究で得られたデータや保存試料を用いて、最新の研究技法やモデル研究などで解析することにより放射線リスク評価を行う上での新たな重要な知見を得られることが試みられています。また今日では、様々な理由から大規模な長期動物実験が困難となっており、過去の研究に関するアーカイブ（文献資料と実験試料）を有効に活用することは、重要な課題と考えられています。

そのような状況の中で欧州共同体（EU）ではすでに、長期動物実験アーカイブ（ERA（European Radiobiology Archives））が構築され、今後それをさらに発展

させるために、ドイツ連邦放射線防護庁（BfS）と英国ケンブリッジ大学は共同プロジェクトを開始しました。

その活動における今年の専門家会合を、去る7月24日から26日の3日間、放医研で開催しました。初日は、放医研放射線防護研究センター（事務局：規制科学総合研究グループおよび国際・交流課）とBfSが共催で、公開で放射線影響アーカイブの利用に関する国際ワークショップを開催しました。国内外の実験病理、リスクモデル、サンプルバンク・データベース管理、分子生物学・分子病理等の分野

の専門家の講演があり、欧州（ドイツ、英国、オランダ）からの出席者5名と放医研、全国の大学や研究所などから総勢70名の参加者の中で最新の知見に基づいたアーカイブ構築のあり方について意見交換を行いました。

25日26日の両日は、プロジェクトの専門家会合に放医

研、東北大学、鹿児島大学、環境科学技術研究所、原子力研究開発機構などの研究者が加わり、欧州や日本のアーカイブの現状、病理組織学的分類の標準化の問題、病理切片顕微鏡写真アーカイブ構築法、そしてアーカイブ構築の共同研究の今後の活動方針などについて、熱心な議論が交わ



されました。

我が国においても、放医研をはじめとする研究機関・大学などにおいて過去に行われた放射線影響研究に関するアーカイブがあり、原爆影響に関する貴重な試料もあります。今後、アーカイブに関する国際的な活動が高まることが期待されます。

放射線防護研究センター規制科学総合研究グループ  
三枝新、米原英典

### 放射線影響アーカイブの研究利用に関する国際ワークショッププログラム

#### 開 会

歓迎の挨拶 酒井 一夫（放医研）

開会の挨拶 Bernd GROSCHE（BfS、ドイツ）

キーノート・会議の趣旨説明 米原 英典（放医研）

セッション1. 放射線リスク研究のためのデータベース・アーカイブ

座 長：Bernd GROSCHE（BfS、ドイツ）、酒井 一夫（放医研）

- 1.1 世界における放射線影響アーカイブ構築の動向 三枝 新（放医研）
- 1.2 EUにおける長期動物実験アーカイブERA-PRO構築の歴史 Soile TAPIO（GSF、ドイツ）
- 1.3 動物分子病理データベースPATH-BASEの紹介 Paul SCHOFIELD（ケンブリッジ大学、英国）
- 1.4 次期アーカイブERA-2構築のための研究計画 Mike ATKINSON（GSF、ドイツ）

セッション2. アーカイブデータの研究利用

座 長：丹羽 太貴（放医研）、Paul SCHFIELD（ケンブリッジ大学、英国）

- 2.1 放射線とエチルニトロソウレア複合暴露誘発胸腺リンパ腫における暴露順の役割 柿沼志津子（放医研）
- 2.2 放医研マウスデータを用いた発がん数理モデルの構築 川口 勇生（放医研）
- 2.3 放医研におけるプルトニウム内部被ばく動物実験 山田 裕（放医研）
- 2.4 プルトニウム内部被ばく動物実験データを用いたがん数理モデルの検証 Harmen BIJWAARD（RIVM、オランダ）

セッション3. アルファ放出核種の生物影響研究へアーカイブデータの応用

- 座 長：島田 義也（放医研）、Mike ATKINSON（GSF、ドイツ）
- 3.1 旧東ドイツウラン坑夫の健康影響アーカイブ Bernd GROSCHE（BfS、ドイツ）
  - 3.2 サンプルバンクデータを用いたトコロラスト研究の成果 福本 学（東北大学・加齢研）
  - 3.3 放医研における知的基盤整備 遠藤 真広（放医研）
- 閉会の挨拶 高橋 千太郎（放医研）

## 安全・施設部



吉田部長

安全・施設部の19年度業務目標は①安全確保の向上(的確かつ効果的な実施と安全認識・資質の向上)、②危機管理体制の整備、③施設設備の維持管理の高度化・効率化④透明性の確保です。これらを実現すべくヒヤリハット運動等を通じて、「速やかに」「的確に」「実行し」「NOと言わない」安全・施設部を目指しています。

### 放射線安全課



後列左から 河合、上原、鶴沢、菅原、玉手課長、石澤  
前列左から 朽木、佐々木、石井、椎野

放射線安全課の業務は、所内の放射線・RIに関する安全を確保することです。私たちの仕事は、単に放射線の使用を規制する仕事だと勘違いされることが多いのですがそうではありません。研究者の要望を最大限に実現しつつ、誰もが安心して作業を行える環境を作ることが目的です。研究者からの要望については、放射線防護の原則(距離・時間・遮蔽・汚染拡大防止)を念頭に、安全かつより良い研究環境作りに励んでいます。具体的には、(1)放射線等に係る許認可申請等(2)放射線作業管理(3)RI管理(4)RI廃棄物管理(5)職員等の被ばく管理・教育訓練など法令に定められた事項を中心に行っています。

### 特殊実験施設管理室



後列左から 内田、宮本  
前列左から 小枝、三門、神室長、森

特殊実験施設管理室は、2006年4月に設置されました。特殊実験施設とは、ウラン・プルトニウムなど核燃料物質

を取り扱う施設のことを指しており、管理室は、室長、専門職及び3つの係から構成されています。管理係は、特殊実験施設の施設・設備の維持管理。安全係は、特殊実験施設における核燃料物質等の使用に係る許可申請等、放射線安全、教育訓練及び那珂湊支所における核燃料物質の使用等に係る安全確保業務に対する支援・協力。廃棄物処理係は、特殊実験施設における核燃料廃棄物等の管理。これらの業務を、放射線安全課と連携して行っています。

### 施設課



後列左から 立石、鈴木(仁)、斉藤、市川、藤野、外山  
前列左から 大坪、桜井課長、鈴木(広)、上野

所内の土地、建物、工作物及び附帯する、電気、空調、衛生設備等の保全維持、運用並びに法人財産の工事計画、積算、設計、施工管理、近隣との調整、法律に基づく届出、さらに省エネ、省廃棄物、環境美化等幅広く定常業務を行っています。

施設課室が第1研究棟1階から第3研究棟に移設してとから始まり、故障などの連絡があったらまず現場を見に行くこと、仕事はすぐに対処し最後まできっちり行うこと、仕事の内容をわかりやすく、利用しやすく所内向けホームページに公開すること、研究所員との対話を基本とした仕事を行うことなどとして努力しています。

### 安全対策課



後列左から 須賀、菅野、森川、東  
前列左から 宮後、石澤、鈴木課長、内田

所内において職員が業務を行うにあたり、必要な安全管理のための基本的事項を定め、安全管理を円滑かつ確に実施することを目的とし、(1)作業環境・安全の保持や消防に関すること(2)大気汚染防止、排水管理等環境の保全、毒物劇物等の化学薬品の管理、遺伝子組換え実験の安全に関すること(3)原子力防災に係わる事項や危機管理に関することなどを業務としています。現在、所内規程等の見直しやセキュリティ対策、毒・劇物の管理など新たな管理システムの実現に向けて鋭意努めております。



## SAS ユーザー会学術総会 2007 で土居主尚さんが最優秀賞を受賞



平成 19 年 7 月 27、28 日に東京で開催された SAS ユーザー会 学術総会 2007 にて、放射線防護研究センター 規制科学総合研究グループの土居 主尚さんが最優秀賞に選ばれました。発表演題名は「SAS プロシジャにおける非線形最適化法の実例」で、統計解析モデルの推定で用いられる様々な数値計算技法について紹介し、その結果の値と実行時間の比較した発表でした。

各技法を適用したデータは、原爆被ばく者を対象とした寿命調査のデータであり、技法によって結果が得られなかったり実行時間に差が見られたりと興味深い結果が得られ

たこと、また発表に付随して作成した論文がよくまとまっていたことが評価されました。この研究は、同グループの放射線疫学統計解析チームが進めているラドン・トロンの影響調査研究に用いるモデルの検討に関連して実施されました。



## 国際科学技術財団／放医研共催

### 「高校生のためのやさしい科学技術セミナー」を開催



炎天の続く 8 月 10 日、(財) 国際科学技術財団と放医研の共催による「高校生のためのやさしい科学技術セミナー」が放医研講堂で開催されました。夏休み期間となる 8 月は、

例年、多くの研究機関でこれからの科学技術振興を担う若い世代を対象とした催事が行われますが、今回のセミナーは、(財) 国際科学技術財団による平成 18 年度の研究助成に、基盤技術センターの中村秀仁研究員の研究テーマが採択されたのを機に行われたものです。同日は、高校生や一般市民の方々にむけ「よくわかる放射線の測定」と題したプログラムが組まれました。

特に、二重ベータ 2 ニュートリノ崩壊の発見者としてご著名な大阪大学 RCNP 名誉教授・江尻宏泰先生には、未知の粒子の測定という物理の最先端の取組みについて、興味深いご講演をいただきました。また、セミナーに続いて開かれた懇談会では、研究者に質問する熱心な高校生が多く見受けられました。セミナー開催についてお力添えをいただいた、国際科学技術財団の皆様、江尻宏康先生、応用光研工業株式会社の本多庸郎部長に御礼を申し上げます。

## 放射線育種十五色

### ●●● 8 月 金 (番外) ビール麦 にらさき二条 8 号 ●●●

今まで成功例を述べてきましたが、時には失敗もあります。終りを控えてその例を挙げてみたいと思います。

金色に輝く液体 (黒もあるけど)、ビールを作るには麦が必要です。本来は大麦で良いのですが、それに特化した麦はビール麦とも呼ばれています。ビール麦の品種改良は諸外国でも盛んで、有名なものとして、スロバキア (当時のチェコスロバキア) で  $\gamma$  線を 10kR 照射する事により得られたビール麦「ダイヤモンド」があります。この品種の形質は現在ヨーロッパで使用されている品種の大部分に組み込まれているそうです。

日本でも、ビール麦の品種改良は盛んで、いくつかの品種が育成されています。

ガンマー 4 号はキリン直 1 号の乾燥種子に 15kR の  $\gamma$  線を照射し、選抜育成した品種です。照射処理は神奈川県工業試験場で 1958 年に行われ、1962 年に育成

されました。元の品種と比較して、稈長が短くなり、倒伏耐性がやや強くなりました。また熟期も 1~2 日早くなりました。



にらさき二条 8 号は、そのガンマー 4 号と 34 $\gamma$  127 (キリン直 1 号の突然変異系) を昭和 37 年に交配し昭和 40 年に育成したものです。この品種はさらに稈長が短く、さらに早熟の性質を兼ね備える事に成功し倒伏に強くなりました。

ところが、現地で試作すると、うどんこ病に特に弱いこと、登熟中に折れやすいことがわかりました。この欠点が育成の段階で見つけられなかったのは、育成の期間が短すぎたのが原因だと言われています。

結局、この品種は期待した程、普及せず、他の品種に置き換わっていきました。

# 炭素線治療における線量推定法の研究

加速器エンジニアリング株式会社 草野 陽介  
放射線医学総合研究所物理工学部 金井 達明

## 背景

HIMAC における炭素線治療では、照射制御をビームライン上に設置された線量モニターを用いて行います。このモニターを使って正しい線量を照射するには、医師の処方線量をモニター出力値へ換算する必要があります。そのため、ビームライン上に設置された様々な機器を治療計画立案時の条件へ設定し、一定のモニター出力値あたりの拡大ブラッグピーク中心位置での線量を測定する事により、モニター出力値への換算係数を求めています。測定はすべての治療計画について1度実施されています。この測定に要している時間は1コースあたり年間で延べ約30×8時間であり、治療の約15%を占めています。つまり、測定によって求めている換算係数を計算により決定する事が可能となれば、治療件数をさらに増やす事が可能となります。

## ペンシルビーム法による線量推定

これまでの実験結果より、ビーム軸と垂直方向の照射野が小さくなると線量が小さくなる事がわかりました。計算により線量を推定するためには、線量の照射野サイズ依存性(照射野効果)を精度良く推定する必要がありますがわかりました。この照射野効果には核破砕反応が影響すると考えられますが、核破砕反応の影響を理論的に推定する事が困難である事から、実験結果をベースとした半経験式を導入し、ペンシルビーム法によって線量を推定する事を試みました。ペンシルビーム法による線量推定では、照射野内を通過する炭素線を細いビーム(ペンシルビーム)の束と仮定します。そして、照射野内の各々の位置 $(x, y)$ を通過するペンシルビームが測定点 $(x', y')$ へ与える線量寄与 $g(x-x', y-y')$ をすべて計算し、式1で足し合わせる事によって求める線量 $G(x, y, z)$ を計算します。

$$G(x, y, z) = \iint g(x-x', y-y') dx' dy' \quad (\text{式 1})$$

## ペンシルビームの導出

測定点への線量寄与を求めるためには、ビーム軸に対して垂直方向のペンシルビームの線量分布を正確に求める必要があります。実験的にペンシルビームの線量分布を測定するには、広がり非常に小さく細いビームを作成し、横方向の線量分布を測定すれば良い事となります。しかし、治療条件下でこの様なビームを形成する事は不可能です。そのため、無限に広く平坦な照射野の半分をコリメータにて遮蔽してハーフビームを作成し、ハーフビームの横方向の線量分布を測定する事により、ペンシルビームの線量分布を求める事としました。そして、ペンシルビームの線量分布を3つの正規分布の和で表現できると仮定し(式2)、ハーフビームの測定より得られる線量分布を3つの分布の和によって表現しました(式3)。

$$g(x, y, z) = \sum_{i=1}^3 \frac{a_i}{2\pi\sigma_i^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma_i^2}} \quad (\text{式 2})$$

$$h(x, y=0; z) = \iint \sum_{i=1}^3 \frac{a_i}{2\pi\sigma_i^2} e^{-\frac{(x-x')^2+y'^2}{2\sigma_i^2}} dx' dy' \quad (\text{式 3})$$

リッジフィルターにより形成される拡大ブラッグピークの深部線量分布は、様々な厚さのアルミニウムを通過する単色ビームの重ねあわせにより表現できます。よって、横方向の線量分布についても単色ビームの重ねあわせにより表現できると考えられます。この事から、リッジフィルター位置に様々な厚さのアルミニウム板を設置し、各々のアルミニウムの厚さに対して水深を変化させて、ハーフビームの横方向線量分布を測定しました。そして、得られた線量分布に対して式3を最小二乗法によりフィッティングし、得られたパラメータ( $\sigma$ および $a$ )を条件ごとにまとめ、多項式により定式化しました。その結果、任意のアルミニウムの厚さおよび水深におけるハーフビームの横方向線量分布を計算により求める事が可能となりました。この多項式を用いて、任意の拡大ブラッグピーク幅でのハーフビームの横方向線量分布を重ね合わせにより再構成し、式3のフィッティングの結果より得られるパラメータ( $\sigma$ および $a$ )を式2へ代入する事によって、ペンシルビームの線量分布が得られました。

## 正方形照射野および不整形照射野における線量推定

得られたペンシルビームの線量分布を用いて、様々な大きさの正方形照射野での線量を推定しました(図1)。結果に示す通り、実測値と推定値は良い一致を示しました。さらに、L字型の不整形照射野における照射野面内の2次元線量分布を計算し、実測値と比較したところ、両者は±1.5%以内で一致する事がわかりました(図2)。以上の結果より、本研究の線量推定法により、任意の治療条件下での線量を精度良く推定できる事がわかりました。今後は、レンジシフターの効果を含めた線量推定法

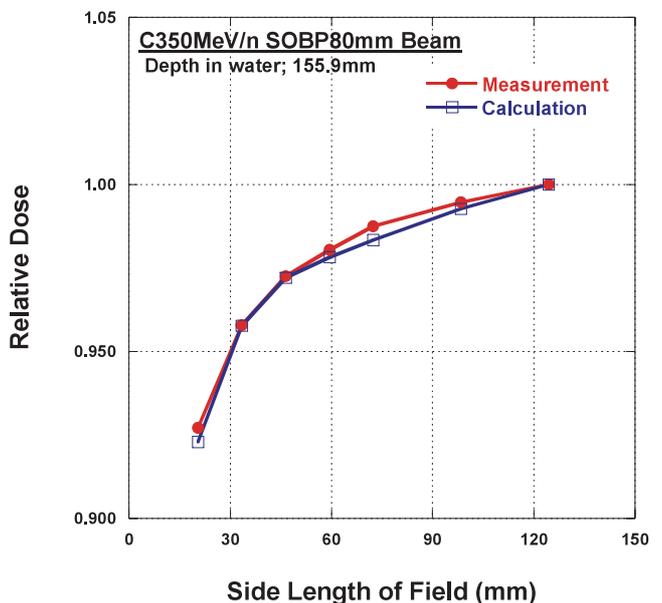


図 1

を行い、現 HIMAC 治療システムおよび普及型治療システムへ導入し、多くの患者を治療できるようにする予定です。

図 1 は、様々な大きさの正方形照射野における線量の実測値と推定値の比較結果を示します。図の横軸は正方形照射野の 1 辺の長さを示し、縦軸は相対線量を示し、赤線は実測値、青線は推定値を示します。両者の差の最大値は 0.4 % であり、線量推定の許容範囲である  $\pm 1.5\%$  を十分にクリアしている事がわかります。この様に実測値と推定値が良い一致を示す事から、本研究の線量推定法により線量を精度良く推定できると言えます。

図 2 は、L 字型照射野における照射野面内の 2 次元線量分布の推定結果を示します。さらに、図の塗り潰しは、実測値と推定値の差を示します。この様に、両者の差は照射野の中心領域で  $\pm 1.5\%$  以内に収まっている事がわかります。この結果より、本研究の線量推定法により不整形照射野における照射野面内の 2 次元線量分布を精度良く推定できると言えます。

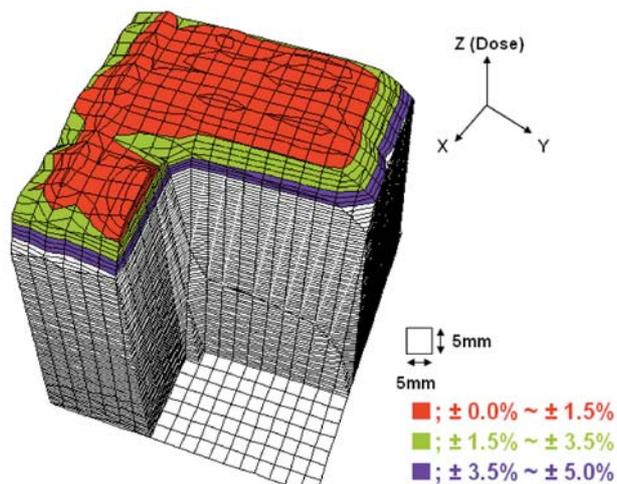


図 2

## 重粒子医科学センター物理工学部の岩田佳之さんが日本加速器学会賞を受賞

平成 19 年 8 月 2 日に日本加速器学会の表彰式があり、重粒子医科学センター物理工学部の岩田佳之さんが「APF 方式 IH 型線形加速器の開発」で日本加速器学会賞（奨励賞）を受賞しました。

表彰業績名：「APF 方式 IH 型線形加速器の開発」  
 表彰名称：日本加速器学会賞（奨励賞）  
 表彰日：平成 19 年 8 月 2 日（埼玉県和光市文化センター [サンアゼリア]）

### 【業績の要旨】

重粒子線がん治療装置（HIMAC）を用いて実施しているがん治療は 3,100 症例以上を数え、その優れた臨床実績から同治療の全国的な普及が待ち望まれています。しかしながら、既存装置は大型でありますので、普及のためには装置の小型化・低コスト化が必要不可欠です。そのため、当研究部では平成 16 年度から 2 カ年計画で加速器システムを含めた装置全体の小型化に取り組んできました。

既存装置のなかで特に入射器は大型ですので、高効率小型入射器の開発が装置の小型化、更には建屋を含めた治療施設全体の小型化・低コスト化の鍵を握ります。そのため我々は、高効率小型入射器の開発を重点課題と位置付け、研究開発を進めてきました。

この高効率小型入射器は永久磁石 ECR イオン源、小型 RFQ 線形加速器、APF 方式 IH 型線形加速器（APF 方式 IH 型 DTL）により構成され、この 2 つの線形加速器の全長は 6 m と、既存線形加速器の約 1/7 という大幅な小型化を実現しております。特に後段の APF 方式 IH 型 DTL はビーム収束に APF 方式、共振器に IH 型構造を用いた新しい線形加速器で、小型・高効率など数多くの魅力的特徴を有します。しかしながら、APF 方式のビーム光学設計や IH 型共振器の設計が困難であるため、APF 方式 IH 型 DTL の実用機は未だかつて世界で存在しない状況にありました。

我々は APF 方式 IH 型 DTL を含めた高効率小型入射



開発した APF 方式 IH 型 DTL（加速成功の記念撮影）

器の実証機を製作し、平成 17 年度末にビーム加速試験をサイクロロン棟で行ったところ、炭素加速に成功することができました。これにより、普及型がん治療装置の全体設計に目処を付けることができ、予定通り初号機の建設が群馬大学において開始されました。また、この APF 方式 IH 型 DTL の加速成功から、APF 方式の有効性を実証することができ、加速器科学の分野で注目されております。本成果により、今後の APF 線形加速器の応用や発展が期待されます。

言うまでもなく、本成果は山田聡・前部長をはじめとした放医研メンバー、ならびに加速器エンジニアリング（AEC）や住友重機械工業の方々全員によるものであります。共同研究者の皆様方には大変感謝しております。

重粒子医科学センター・物理工学部 岩田佳之

# エッセイ ぱるす No.68

## 創立 50 周年記念特集 等時性磁場とのお付き合い

医用サイクロトロンは、フランスのトムソン CSF 社の設計・製作になるもので、中性子線による癌の治療と診断用のラジオアイソトープの生産を主目的として導入されたもので

す。このサイクロトロンは、加速するために等時性磁場（加速される粒子のエネルギーが増加して軌道半径が大きくなっても、一周する時間が変わらない磁場）が必要です。これは加速する粒子の種類やエネルギーによって定まり、このサイクロトロンでは主電磁石の磁場と 11 組のトリムコイルの磁場によって作られます。このために磁場測定を行って、主電磁石の数点の電流レベルにおけるそれぞれのトリムコイル磁場の寄与のデータを取得し、これを用いて計算します。トムソン CSF 社は、搬入後まず最初に主電磁石を組立て磁極周辺に加速箱などの邪魔物が無い時に磁場測定装置をとりつけ、測定を行いました。測定データは処理されたのち納入されました。当初与えられた加速パラメータは、最終性能試験に使用した代表的な粒子・エネルギーの数点しかありませんでした。そこで、この磁場測定のためにデータを用いて等時性磁場を計算しようとしたのですが、計算コードが大き過ぎてそのままでは電算機（TOSBAC）にはかからず、細切れにしてオーバーレイを重ねて、やっと動くようになりました。しかし、一つの磁場計算に 4 時間もかかり、他のユーザーの方々に多大な迷惑をおかけすることになりました。電算機室の福久さん、緒志さん（当時）には大変お世話になりました。のちに、ACOS にリプレイスされると、計算時間が 20 分程に短縮され感激したものでした。今では、机上のパソコンで間に合うというのに。

加速磁場の計算が可能になったことで、新しい粒子・エネルギーの要求に対しても若干の準備時間を必要とするだけで対応できるようになり、重イオンも含めて粒子・エネルギー共、利用の中を拡げることができました。陽子線の臨床試行にも、計算された 70MeV 陽子の加速磁場を用いました。この臨床試行が軌道に乗ると当然のことながら、より飛程の長い陽子が求められるようになり、エネルギーアップの試みが始められました。これには、いくつかの電源に能力不足があり、それらは計画的に改良・交換することにしましたが、問題は、高い磁場領域の磁場データが無く、等時性磁場を計算し加速に必要なトリムコイル電流の設定値を求めることができないことでした。磁場測定をす

るしかない、けれど容易ではない。磁極周辺に加速箱が存在する条件下で、精度良く測定できる装置の設計・製作を行うことには制約が多く難航しましたが、知恵を出し合っ

て漸く作り上げることができました。磁場測定は、1982 年 9 月に実施されました。測定は主電磁石の 8 点の電流レベルについて行われ、再現性を確保するために、設定した一点の電流レベルについての測定、即ち主電磁石と 12 組のトリムコイルを合わせた計 13 個の測定が終了するまで徹夜で行われました。

測定で得られた磁場データを用いた計算の結果、このサイクロトロンで加速できる陽子エネルギーの上限は、集束条件から 93MeV でした。等時性磁場の計算から求めた各トリムコイルの設定値を用いた加速テストでは、陽子以外の粒子、重陽子、ヘリウムその他の重イオンについては予想通り成功し、大巾なエネルギー増強を実現することができ

ました。陽子については、89MeV の取り出しに成功しましたが、高周波系や取り出し系に克服すべき問題があり、実用上の上限としては、80MeV という結果になりました。

中性子線による臨床試行は、HIMAC の建設が進行する段階で終了し、陽子線治療も HIMAC の炭素線治療に引き継がれ、医用サイクロトロンは一つの使命を終えました。

このサイクロトロンは、初ビーム以来約 33 年になります。放医研に存在する大型装置では一番長く現役生活を送っている加速器ではないでしょうか。（本当かしら。）これは、運転維持管理・研究開発に携わってきたすべての人の力によるものです。現在も、興味ある開発研究が進められつつありますが、これからも新たな利用の道をきり拓きながら、稼働を続けることを期待しています。

振り返って想うことは、このサイクロトロンは、発展性がある良いマシンだったということです。要求仕様比べて大型で、技術的にいじり甲斐のあるマシンが導入されたことは、私達にとってとても幸運なことであつたと云わざるを得ません。

下記は実際の磁場測定の日程と当番表（イニシャルで示した）です。

- 9 / 8 (水) ST, TS, SZ, Y, O
- 9 / 14 (火) SZ, U, TS, TZ, FJ, ST, Y, O
- 9 / 17 (金) U, TZ, SZ, TS, Y, O
- 9 / 20 (月) TS, ST, SZ, Y, O
- 9 / 24 (金) FJ, ST, Y, O
- 9 / 27 (月) TS, SZ, FJ, ST, Y, O
- 9 / 29 (水) U, ST, TS, TZ, Y, O
- 10 / 1 (金) TZ, FJ, SZ, Y, O

元サイクロトロンの老兵 小川博嗣



1973 年 10 月 バレーコートにて



1974 年 11 月 熱海親睦会旅行にて

発行所 独立行政法人 放射線医学総合研究所

〒263-8555 千葉県稲毛区穴川 4-9-1

発行日：平成 19 年 8 月 1 日 発行責任者：放医研 広報室（TEL 043-206-3026 FAX 043-206-4062）

ホームページ URL：http://www.nirs.go.jp

制作協力 株式会社サイエンス・サービス

放医研ニュース 2007年8月号 No.129