

- トップコラム／筑波大学 数理物質系 物理学域・研究基盤総合センター 応用加速器部門 准教授 笹 公和
- 医療診断と放射線／〔シリーズ2〕X線と物質の相互作用
- New Horizon of Radiation Therapy／〔その1〕放射線治療とは
- お願い／ご担当者・送付先の変更手続きについて
- お知らせ／日本保健物理学会「第49回研究発表会」
- お知らせ／2016年 製薬放射線研修会(第18回製薬放射線コンファレンス総会)

ト  
ッ  
プ  
コ  
ラ  
ム  
173



笹 公和

## 加速器質量分析法(AMS)の新たな展開

震災で損壊した筑波大学の大型タンデム加速器の後処理と震災復興計画により更新される6MVタンデム加速器の開発を担当しています。新たな加速器では、多核種の加速器質量分析(Accelerator Mass Spectrometry:AMS)が可能となります。今回は震災後の加速器施設の復興と研究展開についてお伝えします。

### 震災後の加速器施設

筑波大学の12UDペレトロンタンデム加速器は、アジア地域で最初のペレトロン型タンデム加速器として1976年から稼働を開始しており、国内では2番目に高い電圧(1,200万V)を保持できる装置でした。加速器タンクは、直径4.8m、全長18m、総重量120トンという規模です。想像するのが難しいかもしれませんが、加速器は縦型になっており、イオン源装置が建屋9階にあり、加速器本体は7階から3階に設置され、1階に向けて荷電粒子を加速する構造でした。

2011年3月11日の東日本大震災では、つくば市は震度6弱でしたが、重心の高かった加速器は横揺れに弱く、加速器内部の加速管が全て崩落しました。震災後は施設の被災状況調査と復旧作業などに忙殺されていましたが、約3か月で加速器のシャットダウンを決断して、2011年8月には震災復興計画による6MVタンデム加速器への更新を決定しました。新たな加速器の設計開発と導入、また並行して放射線取扱主任者としての仕事を担当し、震災から5年後の2015年度末にようやく12UDペレトロンタンデム加速器の廃止措置が終了見込みとなり、6MVタンデム加速器の運用を開始

いたしました。

### 加速器質量分析(AMS)で測れる極微量核種

タンデム加速器は、1980年代頃までは原子核物理実験での利用が中心でした。しかし、最近はAMSによる放射性炭素( $^{14}\text{C}$ )年代測定法での利用がよく知られています。1970年代から開発が進化したAMSは、対象核種を加速器で加速して、妨害となる同重体を分離識別して、粒子検出器で直接的に計数する手法です。同重体の影響により、通常の質量分析法では検出が困難となる同位体比 $10^{-10}$ から $10^{-15}$ レベルの極微量核種の測定を得意としています。少ない試料量(1mg程度)と短い測定時間(30分程度)で極微量核種を高精度、高感度で測定可能な手法として、装置の小型化に伴い多くの施設で導入されています。

AMSの研究を行っていると言うと、大抵の方は $^{14}\text{C}$ 年代測定研究の専門家と思われるようです。しかし、私は特殊な $^{14}\text{C}$ 測定の研究は実施していますが、大型タンデム加速器を用いたAMSによる $^{14}\text{C}$ 以外の核種測定を専門としています。筑波大学に導入された6MVタンデム加速器は、国内では約20年振りとなる大型のタンデム加速器であり、 $^{14}\text{C}$ (半減期:5,730年)以外に $^{10}\text{Be}$ (139万年)、 $^{26}\text{Al}$ (71.7万年)、 $^{36}\text{Cl}$ (30.1万年)、 $^{41}\text{Ca}$ (10.3万年)、 $^{129}\text{I}$ (1,570万年)などの核種が検出可能となります。

### 加速器質量分析(AMS)での研究

現在、 $^{14}\text{C}$ 以外の極微量核種のAMS測定は、国内では数機関しか対応できていません。多核種のAMS測定が可能な装置の導入は、宇宙および地球環境の年代測定や核種トレーサー研究の新たな研究展開に結び付く可能性を持っています。例えば、 $^{36}\text{Cl}$ のAMS測定は、地下水年代測定やカルスト地形での表面照射年代法への適用などが考えられます。また、 $^{129}\text{I}$ 測定では、福島第一原発事故での $^{131}\text{I}$ 降下量の再現を図る研究が進展中です。新たに完成した6MVタンデム加速器のAMS装置は、国内最大の質量分析装置となります。今後、多核種のAMS測定による研究が、宇宙・地球科学、環境科学、医学生物学、原子力学などの幅広い分野に発展していくと期待しています。

ささ きみかず (筑波大学 数理物質系 物理学域・研究基盤総合センター) 応用加速器部門 准教授

プロフィール●1998年東京工業大学大学院理工学研究科原子核工学専攻修了。日本学術振興会特別研究員(PD)を経て1999年より筑波大学物理学系・加速器センター 講師、2011年より現職。加速器工学とイオンビーム応用物理学が専門であり、現在は加速器質量分析法の開発と極微量放射性核種の環境動態を中心に研究を進めている。

# 医療診断と放射線

## 〔シリーズ2〕 X線と物質の相互作用



徳島大学大学院 医歯薬学研究部 助教 林 裕晃

今月のテーマは、X線と物質の相互作用についてです。相互作用と言うと何だか堅苦しい雰囲気にも思えますが、今回の問題設定は非常に単純で、X線が物質に入射した際にどのような物理現象が起こるのかを考えます。物質は原子で構成されており、その原子は多数の“電子（雲）”と原子核で構成されているので、“X線と電子が衝突した際の物理現象”を説明することになります。

図1の左図に示すように、結晶中には原子が格子状に並んでいますが、その原子の内部構造を見たときに電子が登場します。図1の右図は原子の内部構造の模式図で

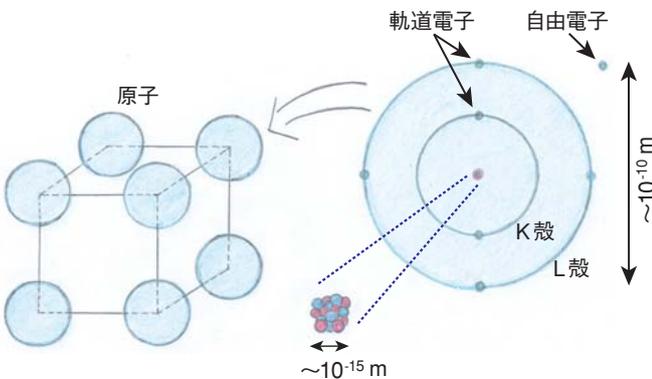


図1 物質を構成する原子とその内部構造

す。中心に原子核があり、その周りに多数の電子が存在しています。電子は雲（波）のような様相も示すので、考え方によっては、電子雲が原子核を覆っているようなイメージでも良いかもしれませんが。電子が存在する位置を“電子軌道”と呼びますが、この電子は原子に束縛されている状態にあるとも言えます。一方で、束縛されていない電子も存在し、“自由電子”と呼ばれています。物質や人体には、それらを構成する原子（分子）に束縛されている軌道電子と、多数の自由電子で満たされています。

X線は光の一種なので波としての性質を示しますが、エネルギーが高くなるにつれ粒子としての性質も示すようになるため、専門的には“光子”と呼びます。図2は、光子（X線）と束縛された電子との相互作用で、“光電効果”と

光子と“軌道”電子の相互作用

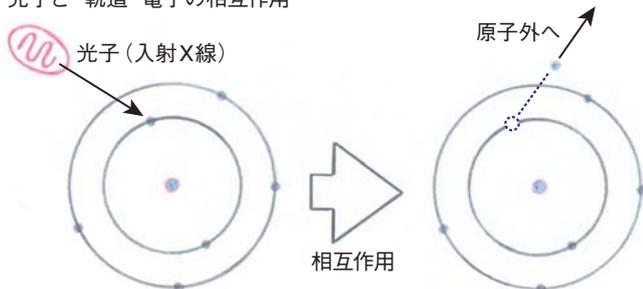


図2 光電効果の概念図

呼ばれています。入射光子が完全に消失することが特徴で、光子が持っていたエネルギーはすべて電子に受け渡され、結果として相互作用をした電子は原子外に放出されます。図3に示した光子と自由電子との相互作用は“コンプトン散乱”と呼ばれており、入射光子が持っていたエネ

光子と“自由”電子の相互作用

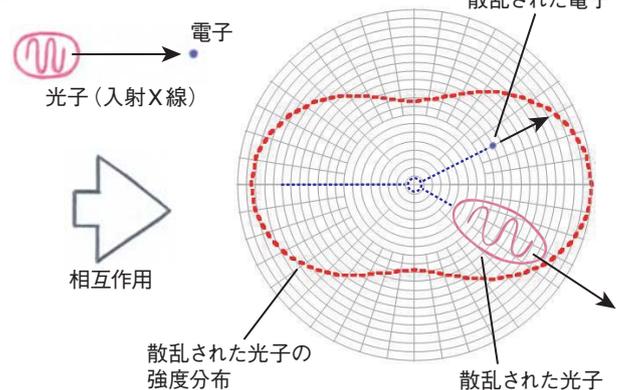


図3 コンプトン散乱の概念図

ルギーは、電子と光子に分配されます。光子に着目すると、散乱された光子のエネルギーは、入射光子の持つエネルギーよりも低くなります。光電効果やコンプトン散乱ではどちらもエネルギーを持った電子が発生しますが、これらの電子はすぐに他の原子（電子）と相互作用をするため、ただちにエネルギーを失います。このことは、入射光子が持ち込んだエネルギーのうち、電子に受け渡されたものは全て物質に吸収されることを意味します。

一方、光子と電子の相互作用（コンプトン散乱）によって生じた散乱光子は、エネルギーを持った粒子として物質外に飛散することになります。このとき、散乱光子の強度分布は、クライン・仁科の式で予測される分布関数になります。図3の破線は分布関数を示していて、中心からの距離が強度に対応しています。診断領域のX線に対しては、前方散乱および後方散乱が大きく、これらの半分の強度で側方散乱が発生します。

今号で説明した相互作用は、今後の連載でも大きな役割を果たします。たとえば、“光電効果”は患者さんの医療被ばくに最も大きな影響を与えますし、“コンプトン散乱”は単純X線写真の画質を低下させ、さらにX線撮影における介助者などの被ばくの主因になります。このように、図2および3で説明した物理現象は医療スタッフの皆さんにとって非常に身近なものであり、これらの知識を学ぶことは被ばく低減の一助となるはずで、具体的には順次解説いたしますので、次号以降も引き続きご愛読をよろしく願います。

## New Horizon of Radiation Therapy

### 〔その1〕 放射線治療とは



国立研究開発法人放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター 放射線治療品質管理室 水野 秀之

日本人の2人に1人はがんになり、3人に1人はがんで亡くなると言われています。その治療の3本柱は外科療法(手術)、化学療法(抗がん剤)と放射線治療です。国民の健康を支える大きな柱の一つを担っている放射線治療について紹介させていただきます。

放射線治療はレントゲン博士が1895年にエックス線を発見し、1898年にキュリー夫妻がラジウムを発見した頃からすでに始まっており、100年以上に渡り人類のがん治療に利用されてきました。そもそもどうやってがんを治療するかというと、放射線によって引き起こされる物質の電離作用(分子の電子を弾き飛ばす作用)により、無限増殖しているがん細胞の根幹を成しているDNAの二重螺旋構造を修復できないくらい切断して増殖を止めています。このDNAを直接攻撃する方式は、細胞分裂が盛んながん細胞のようなものに対して効果が大きく、同じ線量を当ててもがん細胞は正常細胞に比べてダメージから回復しにくく、この差を利用して効果的に放射線治療が行われます。

放射線治療は大きく分類すると外から放射線を当てる外部照射治療と、病巣の中や近くに放射性物質を留置して照射する小線源治療に分かれます。外部照射治療は現在はリニアックと呼ばれる電子線加速器を使用したX線/電子線治療や、粒子線加速器を使用した陽子線/炭素線治療が行われています。もっとも広く行われているリニアックによるX線治療は写真1のようなイメージです。患者さんは照射されている間、痛くもかゆくもなく、放射線を当てられている実感はありません。CT画像を取り込んだ治療計画装置と呼ばれるソフトウェア上で仮想ビームを計算させて、治療前にどの方向から、どの強度の放射線を当てるともっとも治療効果が高くなるかを検討してから放射線照射を行います。頭頸部から肺や乳房、腹部臓器や骨盤領域まで全身に渡って幅広



写真1 リニアックによるX線治療(外部照射)

い適用があります。小線源治療はピン状やシード状(カプセル状)にした小型のイリジウムやヨード、セシウムなどの主にガンマ線を放出する放射性物質を、患部に挿入したアプリーケータと呼ばれる器具を通して病巣の近くに留置したり、針状のものを直接病巣に刺入したりします。子宮頸がんや前立腺がんなどで用いられ、線源近傍では集中的に高い線量を照射することができます。写真2は子宮頸がん(緑色

い適用があります。小線源治療はピン状やシード状(カプセル状)にした小型のイリジウムやヨード、セシウムなどの主にガンマ線を放出する放射性物質を、患部に挿入したアプリーケータと呼ばれる器具を通して病巣の近くに留置したり、針状のものを直接病巣に刺入したりします。子宮頸がんや前立腺がんなどで用いられ、線源近傍では集中的に高い線量を照射することができます。写真2は子宮頸がん(緑色



写真2 小線源による子宮頸がん治療

の部分)の小線源治療です。放射線に弱い直腸や膀胱に挟まれた病巣部のみ高線量を集中させることが可能です。ワイヤーの先に数mm長のイリジウム線源がついていて、チューブの中を患者さんの病巣部まで移送されます。遠隔操作のために医療術者の被ばくがほとんどないのが特徴です。

最近では特に外部照射での技術の高度化が顕著で、数cmの細いビームを集光させて高線量を病巣に照射して1回ないし数回で治療を完遂できる定位治療や、コンピュータを駆使した最適化計算を用いて複雑なモザイク状に強度変化させたビームを多方向から照射して病巣に線量を集中させる強度変調放射線治療、呼吸性移動への対応や治療照射位置でX線画像を取得して位置決め精度を飛躍的に向上させた画像誘導放射線治療などが花盛りです。技術が高度化するにつれて、それに対して求められる物理的な品質も高度なレベルが求められ、医学物理士と呼ばれる職種(放射線腫瘍医と診療放射線技師を物理的な面からサポート)が放射線治療現場で活躍するようになってきています。当放医研が世界の中心的な役割を果たしている重粒子線治療も医学物理士が活躍して目覚ましい成果を上げている最先端治療で、次回以降詳細に取り上げたいと思います。

お願い

ご担当者・送付先の変更手続きについて

お問い合わせ：お客様サポートセンター  
Tel. 029-839-3322 Fax. 029-836-8441

当社では、バッジサービスにおいて次の3つの送付先別にご担当者と送付先を登録しております。

- ・ バッジ送付先
- ・ 測定報告書送付先
- ・ 請求書送付先

人事異動等でご担当者や送付先住所等に変更が生じた場合は、バッジに同封しております「登録変更依頼書」の通信欄に、変更事項をご記入の上、Fax(または郵送)にてご連絡ください。

ご担当者変更の場合はフリガナを、住所変更の場合は郵便番号も併せてご記入ください。

なお、「登録変更依頼書」の最上段「ご記入者名」欄に新しいご担当者名を記入いただいても変更の処理は行われませんのでご注意ください。

登録内容に変更が生じた場合はお早めにお手続きくださいますようお願い申し上げます。



お知らせ

日本保健物理学会  
「第49回研究発表会」

大会長：床次眞司 (弘前大学)

日本保健物理学会第49回研究発表会を以下の通り開催いたします。今回開催される弘前市は本州最北端の西部に位置し、人口が約18万人の小さな都市ですが、リンゴの生産量は日本で第一位を占め、全国の20%に相当する生産量を誇ります。また、弘前市内には弘前大学を初めとする4つの大学があり、学園都市ともいえます。

さて、本大会では、保健物理学に関する様々な研究者・技術者の皆様が一堂に会して活発な議論を展開することができればと考えております。今後ご案内する応募要領を参照の上、奮ってご参加くださいますようご案内申し上げます。

◆研究発表会

会 期：平成28年6月30日(木)、7月1日(金)  
会 場：弘前文化センター

〒036-8356 青森県弘前市大字下白銀町19-4

◆お問い合わせ

日本保健物理学会第49回研究発表会大会事務局  
国立大学法人 弘前大学 被ばく医療総合研究所内  
Tel. 0172-39-5502 Fax. 0172-39-5404

E-mail iwaoka@hirosaki-u.ac.jp

※詳しくは大会ホームページをご覧ください。

<http://culture.cc.hirosaki-u.ac.jp/irem/temp/jhps49/index.php>

2016年製薬放射線研修会

〔第18回製薬放射線  
コンファレンス総会〕

恒例の製薬放射線研修会を、本年は、東京・品川において開催いたします。奮ってご参加ください。

会 期：平成28年6月24日(金) 10:30～

会 場：コクヨホール(多目的ホール)

東京都港区港南1-8-35

【交流会】 TULIPANO(トゥリパノ)

・総会 PRC活動報告等(受付10:00～)

・研修会

ランチョンセミナー

「RI利用促進とRI施設の効率的運用」

特別講演

「放射線障害防止法関係の最近の動向(仮)」

原子力規制庁担当者

招待講演

「ゲノム解析に基づく患者に優しいオーダーメイド投薬の確立」

菟田泰誠氏(理化学研究所)

シンポジウム

「RI施設の廃止・縮小を考える」

※参加申込：PRC WEBページ内の研修会参加登録フォーム

よりお申込みください。〈事前申込締切日：6月10日(金)〉

<http://www.web-prc.com/>

編集後記



皆様は5月1日の「すずらの日」をご存知ですか?フランスではこの日に愛する人やお世話になっている人に感謝を込めてすずらんを贈る習慣があり、貰った人には幸運が訪れるといわれているそうです。思い起せば十数年前の5月1日、朝のテレビ番組でこのことを知った私は、早速母にすずらんのプレゼントを強引に

お願いし仕事へ向かいました。帰宅すると花瓶にすずらんが活けてあり喜んだことを覚えています。後から聞いた話では、花屋さんを何件か回っても手に入らず、畑の隅ですずらんを栽培していた農家の方をやっと見つけ譲っていただいたとのこと。プレゼントを強要する鬼娘のためにそこまでしてくれていたとは…。日頃の感謝を込めて、今年は私が母にすずらんを贈りたいと思います。(R.K.)

お話し仕事へ向かいました。帰宅すると花瓶にすずらんが活けてあり喜んだことを覚えています。後から聞いた話では、花屋さんを何件か回っても手に入らず、畑の隅ですずらんを栽培していた農家の方をやっと見つけ譲っていただいたとのこと。プレゼントを強要する鬼娘のためにそこまでしてくれていたとは…。日頃の感謝を込めて、今年は私が母にすずらんを贈りたいと思います。(R.K.)

長瀬ランダウア(株)ホームページ・Eメール

<http://www.nagase-landauer.co.jp>  
E-mail: [mail@nagase-landauer.co.jp](mailto:mail@nagase-landauer.co.jp)

■当社へのお問い合わせ、ご連絡は  
本社 Tel. 029-839-3322 Fax. 029-836-8441  
大阪 Tel. 06-6535-2675 Fax. 06-6541-0931

NLだより No.461  
平成28年<5月号>  
毎月1日発行 発行部数：37,800部

発行 長瀬ランダウア株式会社  
〒300-2686  
茨城県つくば市諏訪C22街区1  
の場 洋明