

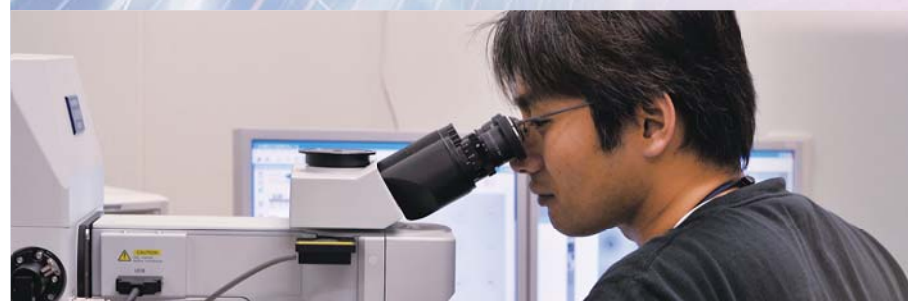
Radiological Sciences

# 放射線科学

2008.05

Vol.51

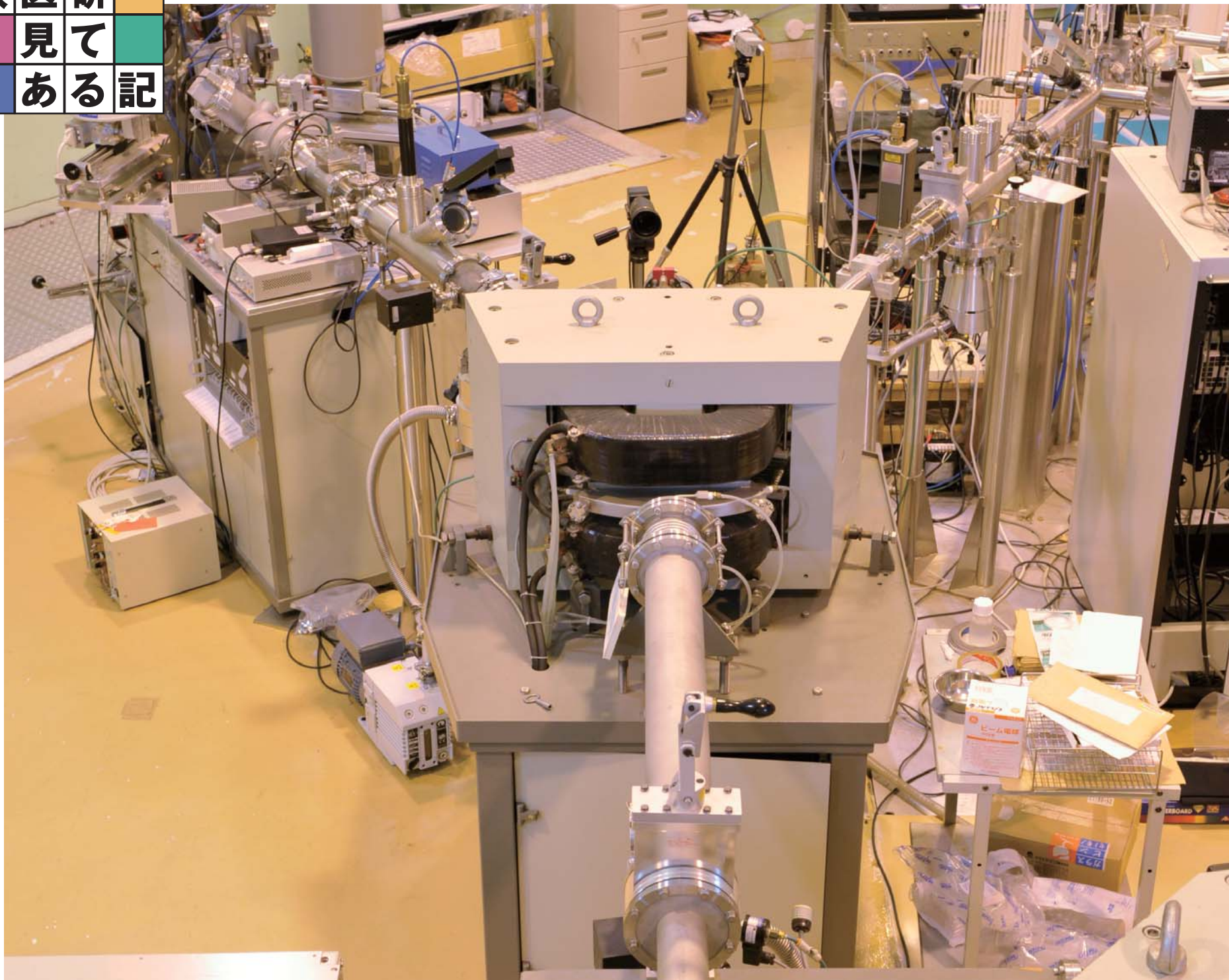
第51卷 第5号



特集

第1回共用施設(PASTA & SPICE)  
共同研究成果報告会

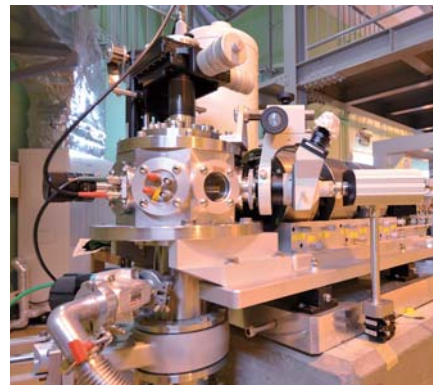
ISSN 0441-2540



▲ 静電加速器棟照射室(PIXE分析ビームライン)



▲ 静電加速器装置本体



▲ マイクロビームスキャンングPIXE分析装置



▲ マイクロビーム細胞照射・解析装置



▲ 静電加速器棟管理室

## Contents

- 04 **特集/第1回共用施設(PASTA & SPICE) 共同研究成果報告会**  
**「第2回静電加速器利用ワークショップ」**  
 1st Workshop on NIRS-PASTA & SPICE Collaborative Research Project  
 基盤技術センター 研究基盤技術部 今関 等
- 16 **印象記**  
**「第3回技術と安全の報告会」**  
 3rd Meeting on Technology and Safety  
 基盤技術センター 運営企画室 編
- 34 **放射線の知識**  
**「中性子線照射に関する物理的な側面」**  
 (2) 中性子源  
 基盤技術センター 研究基盤技術部 高田 真志、平岡 武
- 41 **SR Salon Photograph**  
 三井 正紀
- 42 **随想**  
 市川 龍資
- 43 **編集後記**



特集 / 第1回共用施設 (PASTA & SPICE) 共同研究成果報告会

第2回静電加速器利用ワークショップ

1st Workshop on NIRS-PASTA & SPICE Collaborative Research Project

基盤技術センター 研究基盤技術部 部長  
今関 等



今関 等

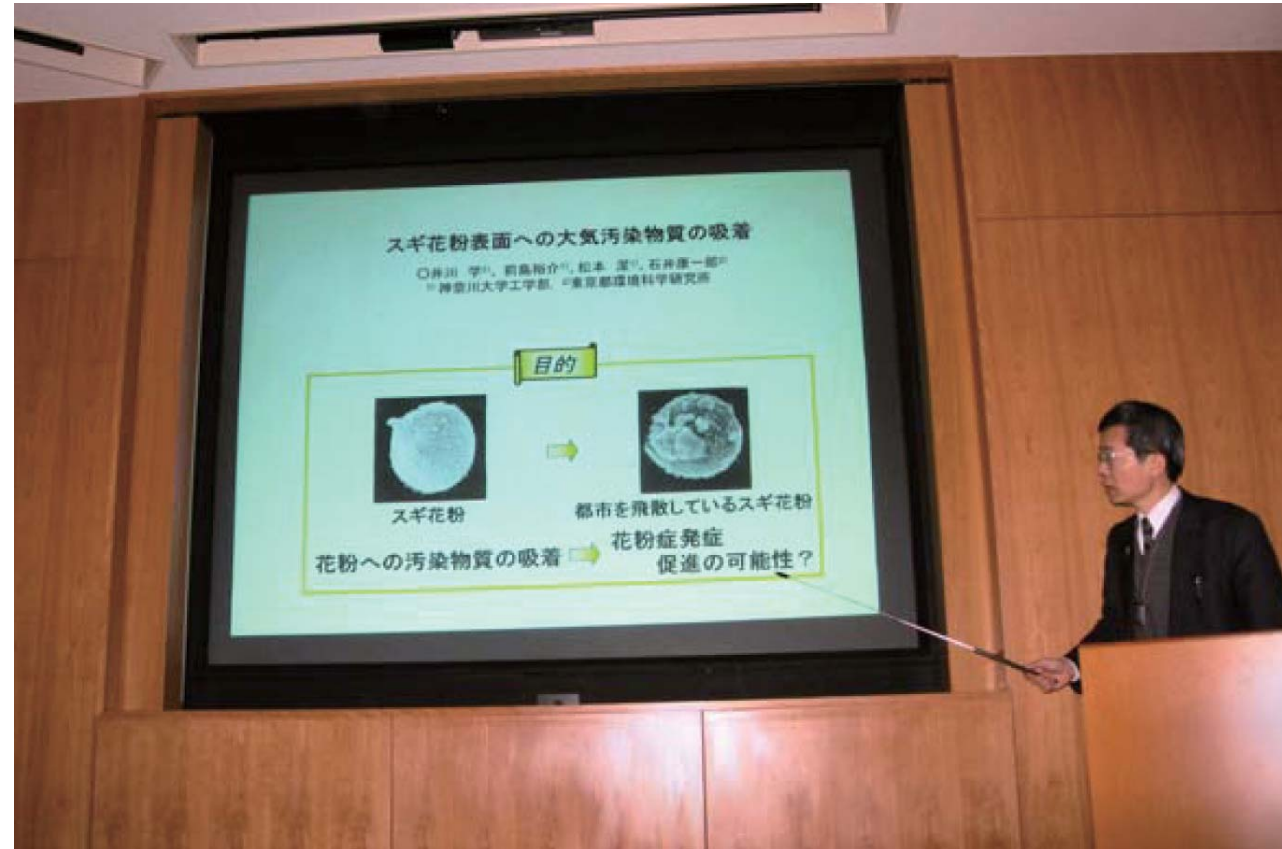


写真1: 成果報告会の発表の様子

はじめに

平成 20 年 3 月 14 日に、第 1 回の共用施設 (PASTA & SPICE) 共同研究成果報告会 (以下、成果報告会) を、成功裏に開催しました。

放医研では、産学連携や研究交流を図りつつその成果を社会に還元する活動の一つとして、放医研固有の施設・設備を「共用の施設・設備」として選定し、外部機関にも利用提供しています。静電加速器棟の PIXE 分析用加速器システム (PASTA & SPICE) も、平成 16 年 3 月に共用施設として指定され、広く放医研外の利用希望者の

方々に、マシンタイムを提供してきました。今回の成果報告会開催は、その活動や成果について、所内外の人たちにもっと知って頂くとの趣旨から企画し、開催したものです。PIXE 元素分析法やマイクロビーム細胞照射装置などの静電加速器の利用技術に関する静電加速器利用ワークショップとしては、第 2 回目となります。発表形式は、口頭発表のみで、PASTA & SPICE の利用者が、共同研究契約に基づく所内外の共同研究者の方々から、14 題の報告がありました。以下、各発表の内容を簡単に紹介します。(写真 1)

プログラム

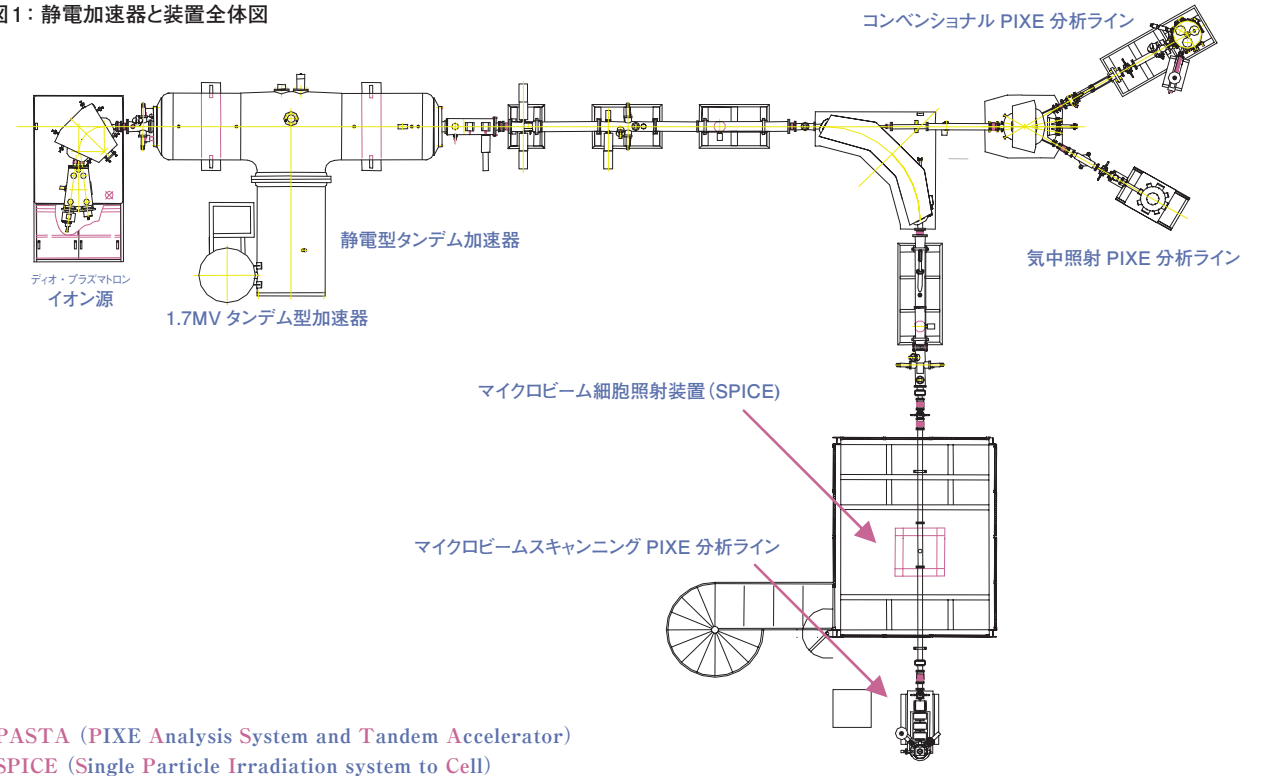
放射線による人体への影響研究の中でも、環境中の放射性物質が最終的に人体に取り込まれる過程を予測するため、環境における放射性物質の挙動に関する調査研究、いわゆる環境放射能モニタリング研究が、重要な研究として位置づけられています。放射線の影響を評価する上で、重要な放射性核種は微量な金属であることが多く、環境試料中ではその濃度が低いことが一般的です。それ故、高感度で多元素を同時分析でき、かつ定量可能な分析法である PIXE 分析が注目されています。PIXE 分析は、静電加速器等で加速した粒子を標的試料に当て、その時に発生する特性 X 線のエネルギーと数を分析することで、試料を構成している元素を知ることができる多元素

同時分析法であり、測定対象の元素濃度が ppm オーダーでも検出可能なこと、1mg 程度の微量なサンプルの分析が可能なことなどの特徴があります。

セッション 1

このセッションでは、PASTA を利用した、環境指標生物に関する話題が報告されました。最初に、装置の維持管理を担当している放射線発生装置利用技術開発課の石川剛弘から、「放医研 PIXE 分析装置について」と題する講演があり、PASTA の概要が紹介されました。放医研が所有する、コンベンショナル PIXE、気中照射 & 液滴 PIXE 及びマイクロビームスキニング PIXE (micro-PIXE) の 3 本の分析ラインの特徴等について報告がなされました。(図 1)

図 1: 静電加速器と装置全体図



PASTA (PIXE Analysis System and Tandem Accelerator)  
SPICE (Single Particle Irradiation system to Cell)

続いて、鈴木享子氏（東京学芸大学）等により、「イトウ生息環境履歴解読のための鱗のストロンチウム分析」の講演がありました。日本最大の淡水魚であるイトウ (*Hucho perryi*) は、近年著しく個体数が減少し絶滅危惧種に指定されています。イトウの生態については、産卵生態こそ明らかにされているものの、降海性を中心とした生態や生活史の知見は不十分です。本共同研究では、北海道猿払沿岸（海水）と道内朱鞠内湖（淡水）で捕獲されたイトウの鱗に含まれる Sr 濃度の違いについて PIXE 法を用いて分析し、イトウの生息環境履歴を解析することを目的としています。ICP-MS の結果では、海水個体の方が淡水個体よりも高い Sr 含有量を示しました。micro-PIXE によるライン分析では、鱗の中心から縁辺に向かった Sr の分布は、淡水個体では低い値で推移しましたが、海水個体では上下に変動しながらも淡水個体よりも高い傾向が示され、特に海水個体の縁辺部では Sr が高い値で検出されました。これらの結果から、海水捕獲個体はある期間海に生息していたことが推測されます。鱗縁辺部では最終生息環境である淡水・海水の環境をそれぞれ反映していることが考えられ、生息環境履歴の解読に鱗を活用できる可能性が示唆されました。

続いて、近藤直紀氏（東京学芸大学）等により、「サワガニ (*Geothelphusa dehaani*) 体内における重金属の蓄積傾向」の講演がありました。河川上流を生息域とし、化学物質に対する耐性の高いサワガニは、水質汚濁の指標生物として注目されていますが、サワガニ体内における重金属の蓄積については未だ明らかにされていません。本共同研究では、サワガニに対して重金属の曝露実験を行い、サワガニ体内における重金属の蓄積傾向について調査しました。亜鉛 (Zn)、銅 (Cu)、鉛 (Pb) がそれぞれ 1.0mg/l の濃度の溶液を用いて 72 時間の曝露実験を行い、サワガニの鰓と背甲の重金属濃度を ICP-MS を用いて測定した結果、全ての曝露区のサワガニの鰓と背甲において、対照区に比べ有意に高い重金属の蓄

積が確認されました。また、micro-PIXE で重金属の高い蓄積が認められた鰓における重金属の分布を解析したところ、Zn 曝露区では Zn が鰓全体に散在し、Cu 曝露区では Cu の鰓軸への蓄積が顕著でした。また、Pb 曝露区においては Pb が鰓全体への散在した個体及び鰓弁先端へ局在した個体を確認することができました。

セッションの最後は、半谷純也氏（東京学芸大学）等より、「銅曝露によるギンプナ (*Carassius langsdorfii*) の鰓の形態変化と銅分布」の講演がありました。水質汚染によって魚類の鰓には様々な形態変化が生じることが明らかにされており、例えば、二次鰓弁の上皮細胞の浮腫や剥離、異常増殖による鰓弁の棍棒化などが観察されます。また、鰓にはいくつかの重金属が蓄積することが報告されていますが、鰓の形態変化と元素分布の双方から重金属の影響について考察した報告は見当たりません。そこで本共同研究ではギンプナを用いて銅 (Cu) の曝露実験を行い、Cu の鰓への形態的影響と元素分布について調べました。ハマトキシリン・エオシン染色を施した鰓弁切片の観察、及び走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察により、Cu 曝露個体では鰓弁全体が変化していることが確かめられ、二次鰓弁が融合し鰓弁の棍棒化が生じていることが確認されました。鰓の形態と対応させた重金属の分布検索に PIXE 法を用い、Cu 曝露個体の鰓弁を分析すると、対照区に比べ X 線強度で 100 倍以上のカウントの Cu が鰓に蓄積していることが確かめられました。Cu は鰓弁全体に散在していましたが、構造的に密度の高い部位ほど Cu が多量に蓄積している傾向がみられました。また、密度の低い一次鰓弁基部の毛細血管中においては Cu の蓄積はあまり認められませんでした。

## セッション 2

このセッションでは、始めに、斉藤勝美（秋田県健康



環境センター）等により、「PTFE フィルター上に捕集した大気粒子の気中 He イオン照射 PIXE 法による元素分析」と題する講演がありました。ヒトの健康に対して大気粒子は重要なリスク因子で、粒子のサイズもさることながら化学成分は重要な要素となります。また、粒子の化学成分は、粒子の動態を解析する上で重要な手がかりとなります。粒子の化学成分を分析するには、粒子をフィルター上に捕集する必要があり、PIXE 法では一般的にポリカーボネイトフィルター上に捕集された粒子の元素組成を直接分析しています。しかしながら、粒子の捕集には PTFE、石英繊維フィルターを使用するのが一般的です。PTFE フィルターに捕集された粒子の元素分析を気中 He イオン照射 PIXE 法を用いて試みました。その結果、プロトン照射では検出されにくい粒子の動態解析で重要な元素である Mg、Al、Si、P が高感度で検出できました。従って、気中 He イオン照射 PIXE 法が確立することによって、大気粒子のリスク評価や動態解析が進展するものと期待されます。

続いて、森梓（東京大学）等により、「DDS 化白金製剤の細胞内取り込み量評価」と題する講演がありました。正常部への被曝量を減らし高い治療効果を実現するために、高エネルギー X 線と薬品送達システム (Drug Delivery System、以下、DDS) を組み合わせた X 線 DDS が提唱されています。近年、DDS 技術は目覚ましい発展を遂げており、中でも高分子ミセルは血中滞留性や腫瘍集積性が高く、有効な DDS キャリアとして注目されています。シスプラチンミセル (ナノキャリア株式会社) は白金製剤であるシスプラチンを高分子ミセルに内包した DDS 薬剤で、Cl<sup>-</sup> イオン存在下で徐々に崩壊し、

放出されたシスプラチンが腫瘍細胞に取り込まれると考えられています。これまで組織への薬剤の取り込み量は原子吸光分析によって評価されてきましたが、治療効果の最大化を定量的に議論するためには、実際にどの程度の薬剤が時間とともに細胞内部に取り込まれるのかを評価する必要があります。そこで本共同研究では、サンプル作製の過程で薬剤が放出される可能性のあった原子吸光分析に代わり、PIXE 分析法を用いて、細胞へのシスプラチンの取り込み量の時間変化を評価しました。本研究は、キャリアの特性評価に加え、放射線増倍効果を最大にするような X 線照射のタイミングを決める上でも重要であると考えられます。今後はマイクロスキニング PIXE を用いて細胞個々への詳細な取り込み量を評価していく予定です。

セッションの最後は、姜美玲氏（東京大学）等より、「金コロイドの細胞内取り込み量の測定」の講演がありました。本共同研究では金コロイド照射条件と金コロイド細胞内取り込み量を PIXE 分析法を用いて評価しました。照射条件は金コロイド原液を用いて評価した後、CHO 細胞を用いた金コロイド細胞内取り込み量分析を実施しました。細胞毒性評価実験結果では、5nm、20nm、50nm の金コロイドは細胞に対しては毒性はありませんが、2nm 金コロイドは CHO 細胞と Hela 細胞に対して強い毒性を示すことが明らかになりました。生物実験結果と金コロイド細胞内取り込み量との関連性を評価については、PIXE 法を用いた実験を行いました。2nm、5nm、20nm、50nm の 4 種類の金コロイド溶液を用い、溶液投与後、6h、15h、24h に細胞を回収して PIXE 分析を行ったところ、20nm と 50nm は沈殿と凝集の問題で

細胞内取り込みは評価しにくい、2nmと5nmは15hまで増加してその後減少する傾向が観察されました。

### セッション 3

このセッションでは、始めに、大村和香子氏（森林技術総合研究所）等により、「PIXE分析法によるシロアリ大顎の材質特性解明」と題する講演がありました。様々な生物では、生体支持や防御等に寄与する組織に特異的の金属が集積するということが知られています。このような生鉱物化（バイオミネラリゼーション）については、その形成過程や形成組織の機能が徐々に解明されてきています。本共同研究では、種々のシロアリの加害‘道具’である大顎の材質特性を解明するため、大顎先端部に特異的に存在する微量金属のPIXE分析を行いました。5科12種のシロアリを供試し、各種シロアリの頭部より切除した大顎をmicro PIXEで分析しました。ムカシシロアリでは特定の金属集積は認められませんが、その他のシロアリ種すべてにおいて、Mnが大顎の着色部位に特異的に分布していることが明らかとなりました。更に、レイビシロアリ科のみ4種類とも大顎先端部にZnの蓄積が認められ、蓄積金属種とシロアリ種との関係が明らかとなりました。今後は、本共同研究においてシロアリが生息環境および餌からどのようにして選択的に特定の金属種を蓄積するか明らかにする予定です。

続いて、井川学氏（神奈川大学）等により、「スギ花粉表面への大気汚染物質の吸着」と題する講演がありました。近年、スギ花粉症患者は急激に増加しており、その傾向は山間部より都市部で顕著ですが、その背景に大気汚染物質との関連性が示唆されています。これまで井川氏は、花粉表面上あるいは内部への大気中のガス成分や微小粒子の吸着を確認してきました。本報告会では、都市部の横浜と山間部の丹沢大山にて大気

中のスギ花粉を採取し、花粉表面上の粒子状汚染物質の吸着状況を検討するとともに、ガス成分の吸着挙動を明らかにするため、スギ花粉へのガス暴露実験を行った結果の中間報告が行われました。神奈川大学講義棟屋上と、丹沢大山阿夫利神社下社（標高680m）近傍に設置したDurham型花粉捕集器に、SEM試料台を固定して大気中花粉の採取を行い、採取したスギ花粉は、SEM-EDXにて形状観察と同時に表面の成分分析を行いました。花粉表面の分析は、花粉の表面と表面上に存在する付着物で区別し、それぞれ3～4点の点分析を行い、検出割合（各元素の検出回数/全検出回数）を求めました。またスギ雄花より直接採取した未飛散のスギ花粉へHNO<sub>3</sub>ガスの暴露を行い、その抽出溶液のpHを測定するとともにNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度をイオンクロマトグラフで測定し、その吸着量を求めました。飛散した花粉には様々な粒子状物質が付着しており、横浜で採取した花粉は大山で採取した花粉より明らかに付着量が多かったことが分かりました。SEM-EDXでの検出割合を元素ごとに求めたところ、表面と表面上の付着物では、ほぼ全ての元素で付着物の方が高い値を示しました。両地点を比較すると、横浜で採取した花粉からは自然起源の元素に加えて人為起源と考えられる多様な元素が検出されており、花粉は飛散している間に、大気中に存在する汚染物質が付着するものと考えられます。さらに風向と後方流跡線による解析を行ったところ、花粉表面に存在する微量の人為起源元素は、採取地点近傍の都市大気の影響を強く受けていることが示唆されました。また、花粉は大気中の様々なガス成分を吸着するが、特にヘンリー定数の高いHNO<sub>3</sub>やHCl、NH<sub>3</sub>がよく吸着されます。室内において行ったHNO<sub>3</sub>ガス暴露結果では、暴露濃度はおよそ0.2×10<sup>-4</sup>～16mmol g<sup>-1</sup>の広い範囲で行いましたが、吸着量は暴露量に対してよい相関を示し、低濃度領域において高い吸着率にあるという結果が得られました。今後、PIXEによる花粉表面上の汚染物質について定量的

な把握を行うとともに、これらの付着物質による花粉のアレルゲンのアレルギー発現作用の変化について検討する予定です。

続いて、大村至氏（順天堂大学）等により、「頭髪の微量元素定量と異同比較」と題する講演がありました。人体の毛髪は、体内に取り込まれた物質をよく反映する部分であり、体内の元素が人間によって異なっているならば、体毛にも変化が現れるはずです。実際、多くの研究者によって頭髪、体毛などのPIXEによる分析が行われており、鉱山での有機水銀中毒、環境ホルモンなどに微量存在する重金属元素の様な、有機物に含まれる軽～重元素の体内取り込み量の評価に用いられています。これらの結果は人体によって体毛の元素構成が異なっていることを示唆しています。例えば、最も環境に曝露されている頭髪などは、その人の職業により大きな変化が現れています。このように個人により頭髪に違いがあるならば、頭髪を使って同一人物か他人か異同比較も可能と考えられます。法医学の分野では、人体のDNAが毛根から検出されれば異同分析は可能で

すが、事件等で採取される体毛に毛根のあることは少なく、体毛のミトコンドリアDNAでは変化が激しく異同分析に使用できないという問題があります。そこで、少量の試料での分析が可能なPIXE分析法の異同分析に対する有効性について共同研究を行うことにしました。ただし、人体の頭髪では生えている部署、頭髪成長の時間の違い、等が変化を与える要因になっている可能性があり、非常に注意が必要になります。大村氏からは主として、試料作成時の苦労やPIXE分析の有効性についての中間報告がありました。

続いて、岡部真一郎氏（千葉大学）等により、「肝細胞癌の予後への肝組織中金属含量の影響に関する検討」と題する講演がありました。これまでに岡部氏は、肝細胞癌における肝内銅の蓄積とフリーラジカルの発生について報告してきましたが、肝細胞癌におけるMRIのT1強調像の高信号には、肝組織内銅蓄積が関連しており、さらにこのような肝組織内銅蓄積とフリーラジカル発生が関係を持つことや発癌との関連について検討しています。MRIのT1強調像の高信号から癌と診断された



意見交換も活発に行われた

結節はHCV陽性者がHBV陽性者と比べて多いこと、C型肝炎は炎症が持続して癌化すると見られることから、HCVと金属、フリーラジカルの関係が示唆されています。またC型肝炎では瀉血を行うことで肝機能が安定し発癌が抑えられることも報告されています。本共同研究では、非癌部肝組織中の金属量と血清中の金属量の比較を行い、肝組織中の金属量と肝細胞癌の予後との関係についての検討を行いました。像は初回治療時に採取した血清、及びHCV陽性肝細胞癌組織58例でその中に含まれる銅、亜鉛、鉄、フェリチンに注目してPIXE分析を行いました。結果は、①血清中と組織中の金属量に関しては、銅、亜鉛は関連がありませんでしたが、組織中鉄量はフェリチンとかなりの相関 ( $r=0.686$ ) を認めました。②肝細胞癌の他部位再発率、生存率との関係については、肝組織中銅含量高値群・低値群の2群では、高値群において他部位再発率が高い傾向を示しました。一方、鉄、亜鉛に関しては、高値群・低値群を比較しても他部位再発に差は見られませんでした。肝組織金属含量とHCV陽性肝細胞癌症例の予後との関係は、鉄、亜鉛では認められませんが、銅では関連性が示唆される結果となりました。

セッションの最後は、倉沢真澄氏（ポーラ化成工業株式会社）より、「表皮接着装置タイトジャンクションと表皮内カルシウムイオン濃度勾配の関係の研究」の講演がありました。皮膚が健康な状態にあると、体表からの



民間の研究機関からも報告があった

水分の消失や刺激物の侵入を防ぎ（バリア機能）、適度に水分を保持し（水分保持機能）、また見た目にも美しく見えます。皮膚は表層から順に角層、表皮、真皮、皮下組織から形成されており、バリア機能、水分保持機能はどちらも皮膚の最外層である角層が担っています。角層は、表皮基底層で細胞分裂により生じた表皮角化細胞が成熟（分化）しながら表層方向へと移動し、さらに脱核・扁平化（角化）したものが10～20層積み重なって形成されています。つまり、角層の形成には、表皮角化細胞の分化・角化が適切に行なわれることが非常に重要であるといえます。ところで、表皮角化細胞の分化・角化には、表皮中の細胞外  $Ca^{2+}$  濃度が関わっていることが知られており、また、表皮中にはCaの勾配が見られ、この勾配は角層のバリア機能を人工的に破壊すると消失してしまうことも報告されています。このことから、表皮中  $Ca^{2+}$  分布を正常に整えて表皮角層細胞の分化・角化を助けることで、高い機能を持つ美しい角層を形成させることが出来ると考えられます。一方、表皮上層（顆粒層）の細胞にはタイトジャンクション（TJ）という細胞間接着装置が存在します。TJは腎臓などの他の上皮系組織で細胞間の物質移動を調節するとの報告がなされていることから、倉沢氏は表皮のTJが表皮中の  $Ca^{2+}$  分布に関わっているのではないかと考えました。このことを確認するため、ヒト3次元表皮モデルを用いてTJの機能を阻害し、そのときの表皮モデル内Ca分布をmicroPIXEを用いて分析しました。本報告会では、その経過についての報告がなされ、TJの機能を向上することにより表皮内の分化・成熟の環境を整えるといった、化粧品の新たなコンセプトの可能性が期待されています。

#### セッション 4

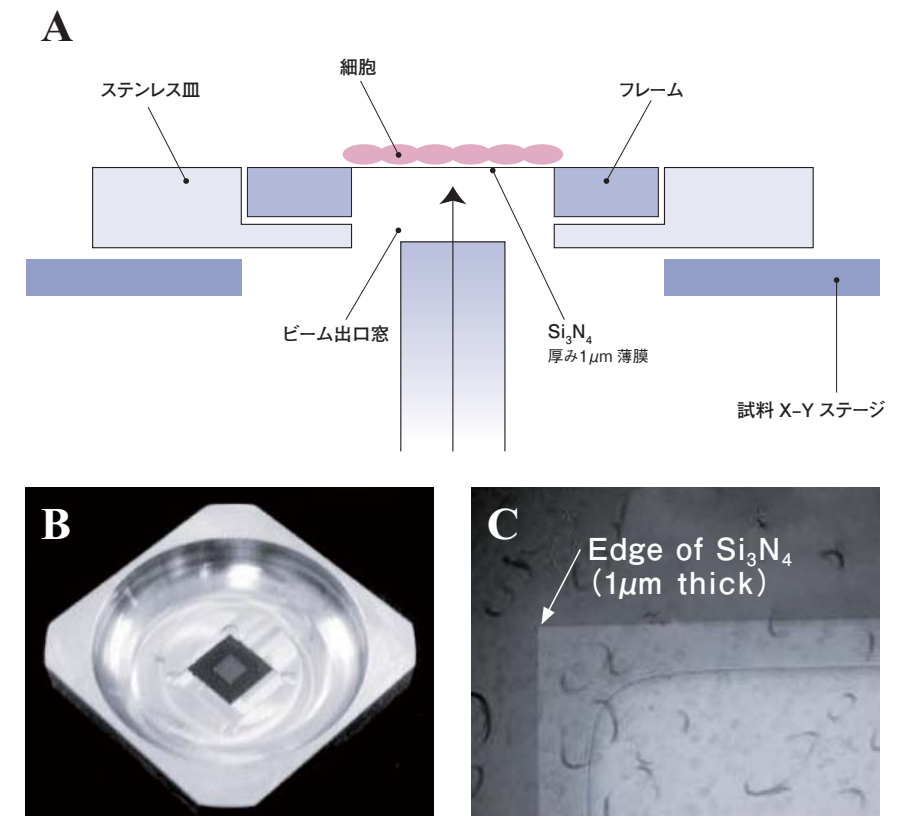
このセッションでは、静電加速器棟のマイクロビーム細胞照射装置（以下、SPICE）を利用した、放射線生

物影響研究に関する話題が報告されました。ここでは、SPICEの概要と、最近得られた細胞照射実験の概要が紹介されました。

マイクロビーム細胞照射装置は、放射線生物影響研究において有効なツールであり、直径数マイクロメートルに絞ったビームを用いて狙った細胞に任意の放射線量を照射でき、すべての細胞に同じ線量を与えることができることから、確率的な影響評価を打破し、絶対的な評価を可能にすることが期待されています。さらに、照射する細胞も任意に狙いを定めることができることから、照射された細胞の近傍の照射されていない細胞にも、放射線の影響が表れるというBystander効果研究にとっては最も有効なツールであると言えます。マイクロビー

ム生物研究の先駆けであるグレイがん研究所（英）、コロンビア大学（米）では、ヘリウムのマイクロビームを主に用いた研究が盛んに行われています。重粒子イオンでは、海外においてGSIマイクロビーム（独）とミュンヘン工科大学SNAKES（独）があり、日本では高エネルギー加速器機構（KEK）の単色X線マイクロビームと原子力機構高崎研（TIARA）の重粒子イオンマイクロビームが稼動しています。放医研静電加速器棟のSPICEでは、3.4MeVに加速したプロトンを用いており、その特徴の一つとして90°偏向磁石を用いて垂直方向（細胞底面から細胞上部）に照射できることから、通常の細胞培養と同様の状態で照射実験ができるようになっています（図2）。

図2: SPICE用細胞皿とビーム出口の位置関係



始めに、装置の維持管理を担当している放射線発生装置利用技術開発課の小西輝昭から、「放医研 SPICE について」と題する講演がありました。マイクロビームの形成には、三連四重極電磁石 (Q レンズ: Oxford Microbeam Ltd. 製) および二組の X-Y スリットシステムを用いてビームを集束する方式を採用しています。Q レンズを用いることによって、コリメータ方式で問題となるエッジ散乱などの成分が低減でき、エネルギーの均一なマイクロビームを形成に成功しています。SPICE は 2003 年に建設が開始され、2006 年 3 月には大気圧環境下で 3.4MeV プロトンビームを直径 10 $\mu\text{m}$  まで絞ることに成功し、照射粒子数も 1 粒子から設定可能となっています。現在では、機器調整や集束パラメータの最適化により、5 $\mu\text{m}$  程度のマイクロビームを実現しているとの報告がなされました。

続いて、鈴木雅雄氏 (放医研・粒子線生物研究グループ) 等により、「陽子線マイクロビームを利用した細胞照射実験の試み」と題する講演がありました。がんの放射線治療や診断に代表されるような医療被曝に関わる放射線影響、宇宙空間環境あるいは高高度飛行における宇宙船・航空機内での人体に対する放射線影響、原子力のエネルギー利用や放射線廃棄物を源とする環境放射線に対する人体への放射線影響は、今後ますます大きな関心事となることが予想されています。このような放射線被曝環境に対する放射線生物影響研究で問題となるのは、低線量 (率)・低フルエンス照射の生物効果であり、想定される放射線被曝環境では、直接放射線のヒットを受けた細胞とその周囲に存在する放射線のヒットを受けていない細胞 (バイスタンダー細胞) が共存する細胞集団に対するバイスタンダー効果を含めた生物効果を解析する必要があります。放射線生物影響に対するバイスタンダー効果は、現在世界各国それぞれの研究室で断片的な状況証拠が集められているのが現状であり、バイスタンダー効果の誘導機構については、まだまだ不明な点が多く、それ

らの研究の大多数が 238Pu から放出されるアルファ粒子やヘリウムイオンマイクロビームを利用した照射実験によるものであり、ヘリウム以外の核子・核種のイオンビームや電磁波放射線による低線量 (率)・低フルエンス照射の生物影響研究やそのバイスタンダー効果研究は現段階で非常に限られています。以上のような現状認識のもと、プロトンのマイクロビーム照射システムを利用した生物影響研究を推進するために SPICE における生物照射システムの開発を行っています。SPICE プロトンマイクロビームを全体の 0.2% の細胞に照射した細胞集団の生存率は、ギャップジャンクションを介した細胞間情報伝達機構を阻害してもしなくても、ほぼ 100% でした。同様の照射方法で、原子力機構高崎研における炭素イオンマイクロビーム照射実験では、照射群の細胞生存率は 81 ~ 94% であり、また、照射時にギャップジャンクション特異的阻害剤を併用した場合は、生存率は 100% 前後でした。一方、高エネルギー加速器研究機構の放射光単色 X 線マイクロビーム照射実験では、照射単独群およびギャップジャンクション特異的阻害剤併用群いずれの場合も生存率は 100% 前後でした。今回得られた SPICE プロトンマイクロビームの実験結果は、粒子放射線マイクロビームであっても高 LET 粒子線である炭素イオンよりはむしろ低 LET 電磁波放射線である X 線マイクロビームの結果と同等のものとなりました。このことより、粒子の種類あるいはエネルギー (LET) が異なることによって、誘導される生物効果のバイスタンダー効果に違いがあることが示唆されました。今回初めて細胞照射試行実験が実現された SPICE マイクロビーム細胞照射システムを利用することによって、比較的低 LET 粒子線であるプロトンの直接ヒットの生物効果や非ヒットバイスタンダー細胞に対する生物効果 (バイスタンダー効果) を細胞一個一個を認識させた照射法や今回行った格子状照射法によって明らかにすることが可能となります。それによって、低線量 (率)・低フルエンス照射の生物影

響や細胞応答に対する放射線の線質依存性を明らかにすることが期待されるとの報告がありました。

## おわりに

我々、PASTA & SPICE という装置を提供し運営する側にとって、利用者からの要望に応える努力は、とても重要なことです。とりわけ所外の研究者からの要望は、PASTA&SPICE の利用方法としてとても新鮮で刺激的であり、新しい発見に満ちています。共同研究というかたちで施設の共用化が進んでいく一方で、他方では、現状のスタッフだけでは、マシンタイムを希望通りに供給できないという運営上の問題点も明らかになってきました。

静電加速器棟の PIXE 分析用加速器システム (PASTA & SPICE) は、共用施設として今後とも所内外の多くの研究者等に対して、できる限り多くのマシンタイムを提供していくつもりです。今後ともご理解とご支援をよろしくお願いいたします。また、今後の展開として、本報告会に関連します「第 8 回マイクロビーム国際ワークショップ」が 11 月に当所において開催されますので、以下にご案内します。

なお、本稿は、著者 (今関) の記憶および報告会の抄録集からの部分的な引用によって作成しました。内容等に誤りあれば、全て著者の責任です。本報告会の抄録集は、「第 3 回技術と安全の報告会」の報文集と一緒に出版される予定です。必要な方はお問い合わせ下さい。

## 8th International Workshop: Microbeam Probes of Cellular Radiation Response (第 8 回 マイクロビーム国際ワークショップ) の開催案内

標記のワークショップが下記要領で開催される。本ワークショップは、マイクロビームの生物研究利用研究発表を目的とし 1993 年よりほぼ隔年で開催されている。マイクロビームは、放射線を数 $\mu\text{m}$ 以下のサイズに微細化し、生物試料に任意の位置と線量で局部照射する装置で、低線量影響や Bystander 効果研究でのマイクロビームを利用した多数の研究報告で、その放射線影響研究ツールとしての重要性を多くの研究者から認められている。世界的には先行する英国・グレイ研究所、米国・コロンビア大学の 2 サイトに加え、日本、ドイツ、イタリア、中国などで多くの施設が建設されている。その中でも、日本は、先行 2 サイトに次ぎ研究で先行し、原子力機構 TIARA の重粒子、KEK-PF の放射光 X 線、そして放医研 SPICE のプロトンの各マイクロビームで細胞照射研究を実施している。世界のマイクロビーム研究者が放医研に一同に会って発表を行ない、また中長期的なマイクロビーム生物研究について議論することは、マイクロビーム生物研究の発展と同時に、その一翼を担う日本の当該研究分野での存在感を高めることにもなる。HP は、<http://133.63.22.22/microbeam2008/> である。

### 記

開催日時:平成 20 年 11 月 12 日 (水) ~ 14 日 (金)  
開催場所:放射線医学総合研究所 重粒子治療推進棟 2 階 大会議室

主 催:放射線医学総合研究所  
協 賛:マイクロビーム生物研究連絡会、日本放射線影響学会等  
共 催:原子力機構、KEK、長崎大学、群馬大学等  
事務局:研究基盤技術部 マイクロビーム細胞照射装置整備推進室、企画部 国際・交流課

# 第1回共用施設 (PASTA & SPICE) 共同研究成果報告会

—第2回静電加速器利用ワークショップ—

## プログラム

平成20年3月14日 放射線医学総合研究所重粒子治療推進棟 大会議室 9:00 ~ 12:45

開会の挨拶	9:00 ~ 9:10		高橋理事	
セッション1 (座長:吉田聡)	9:10 ~ 9:20	OP-01	放医研PIXE分析システムについて	石川剛弘 放医研・研究基盤技術部
	9:20 ~ 9:35	OP-02	イトウ生息環境履歴解読のための鱗のストロンチウム分析	鈴木享子、吉富友恭 東京学芸大学
	9:35 ~ 9:50	OP-03	サワガニ (Geothelphusa dehaani) 体内における重金属の蓄積傾向	近藤直紀、吉富友恭 東京学芸大学
	9:50 ~ 10:05	OP-04	銅曝露によるギンブナ (Carassius auratus langsdorfii) の鰓の形態変化と銅分布	半谷純也、吉富友恭 東京学芸大学
セッション2 (座長:武田志乃)	10:05 ~ 10:20	OP-05	PTFEフィルター上に捕集した大気粒子の気中Heイオン照射PIXE分析法による元素分析	齊藤勝美 <sup>1</sup> 、濱野毅 <sup>2</sup> 、磯浩之 <sup>2</sup> 、石川剛弘 <sup>2</sup> 、今関等 <sup>2</sup> 1秋田県健康環境センター、2放医研・研究基盤技術部
	10:20 ~ 10:35	OP-06	DDS化白金製剤の細胞内取り込み量評価	森梓、水野和恵、遊佐訓孝、上坂充 東京大学
	10:35 ~ 10:50	OP-07	金コロイドの細胞内取り込み量の測定	姜美玲、遊佐訓孝、上坂充 東京大学
	10:50 ~ 11:05	OP-08	肝細胞癌の予後への肝組織中金属含量の影響に関する検討	岡部真一郎、榎谷佳生、福田浩之、吉川正治、 江原正明、横須賀收 千葉大学
開会の挨拶	11:05 ~ 11:15		コーヒーブレイク	
セッション3 (座長:長谷川純崇)	11:15 ~ 11:30	OP-09	PIXE分析法によるシリカ大顆粒の材質特性解明	大村和香子 <sup>1</sup> 、鈴木養樹 <sup>1</sup> 、吉村剛 <sup>2</sup> 1森林技術総合研究所、2京都大学
	11:30 ~ 11:45	OP-10	スギ花粉表面への大気汚染物質の吸着	井川学 <sup>1</sup> 、前島裕介 <sup>1</sup> 、松本潔 <sup>1</sup> 、石井康一郎 <sup>2</sup> 1神奈川大学、2東京都環境科学研究所
	11:45 ~ 12:00	OP-11	頭髮の微量元素定量と異同比較	大村至 <sup>1</sup> 、堀川弥太郎 <sup>1</sup> 、伊藤幸夫 <sup>1</sup> 、小岩義典 <sup>2</sup> 1順天堂大学、2千葉大学
	12:00 ~ 12:15	OP-12	表皮接着装置タイトジャンクションと表皮内カルシウムイオン濃度勾配の関係の研究	山本卓也、倉沢真澄、黒田昇平 ポーラ化成工業株式会社
セッション4 (座長:酒井一夫)	12:15 ~ 12:25	OP-13	放医研SPICEシステムについて	小西輝昭 放医研・研究基盤技術部
	12:25 ~ 12:40	OP-14	陽子線マイクロビームを利用した細胞照射実験の試み	鈴木雅雄 <sup>1</sup> 、古澤佳也 <sup>1</sup> 、鶴岡千鶴 <sup>1</sup> 、安田仲宏 <sup>2</sup> 、小西輝昭 <sup>2</sup> 、 濱野毅 <sup>2</sup> 、石川剛弘 <sup>2</sup> 、磯浩之 <sup>2</sup> 、酢屋徳啓 <sup>2</sup> 、今関等 <sup>2</sup> 1放医研・粒子線生物研究グループ、2放医研・研究基盤技術部
閉会の挨拶			今関等	

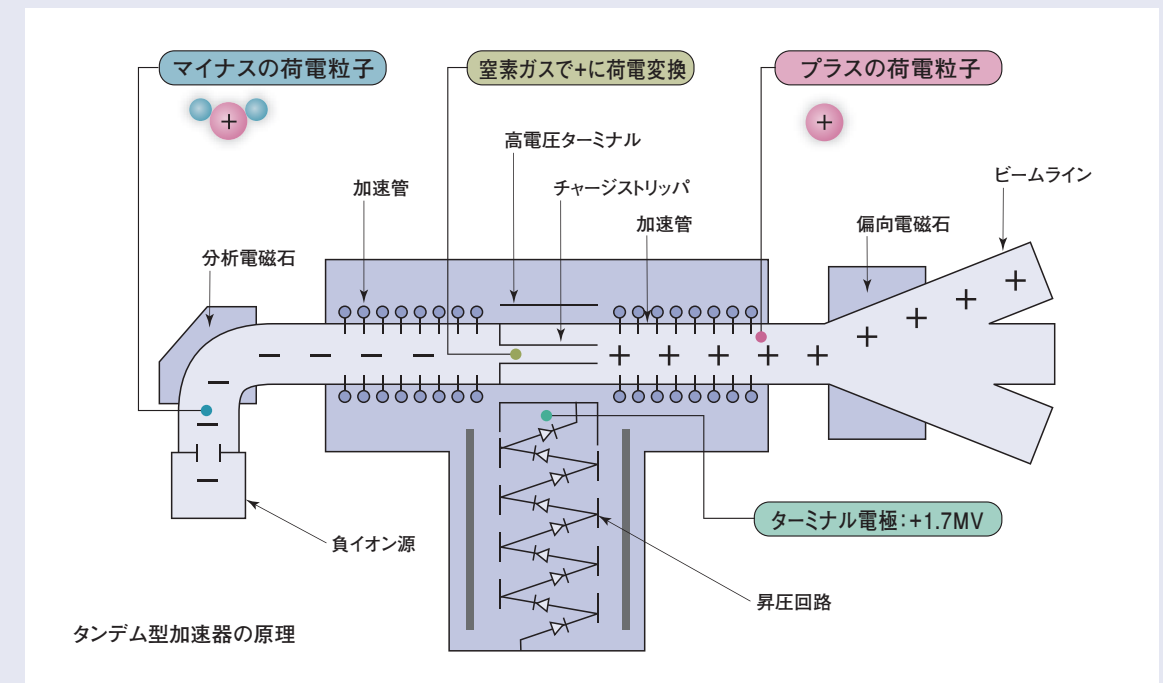
(口頭発表は12分、質疑応答3分 OP-1、13は口頭発表7分、質疑応答3分)

### 用語解説

#### タンデム型静電加速器

乾燥した冬の日に、金属などが静電気を帯びると高電圧になって手を近づけると放電することがある。これと同じ原理で、絶縁された金属球に電気(静電気)をたくさん溜めると金属球が高電圧になる。またこの高電圧を利用して、クーロン力により荷電粒子を加速する装置を静電加速器という。通常の静電加速器は、加速電圧(高電圧ターミナル)を1回しか使わないのに対し、タンデム型静電加速器は、2回利用する加速器である。どういうことかという、図のように、この加速器は、正の高電圧(最大1.7百万ボルト)に帯電した電極(ターミナル)を中心として、その両側に加速管が2本直列につながった構成になっている。図の左側のイオン源で発生した負のイオンは加速管に導かれ、高電圧ターミナルに向かってまず1回加速される。そして、ターミナル内の希薄気体(窒素など)あるいは炭素薄膜を通過することによって、電子がいくつかはぎ取られ正のイオンに変わる。すると今度は、プラスの高電圧(ターミナル電極)に反発されて、もう一度、加速の作用を受けることになる。すなわちターミナル電圧によって、荷電粒子は、加速作用を2回受けることになるので、2頭

立ての馬車を表すタンデムになぞられて、タンデム型加速器と呼ばれている。通常のタンデム型静電加速器は、電圧発生部と粒子加速部が別々に接続されており、タンデム型静電加速器の外観は、アルファベットのTの形をしているが、中には、高電圧ターミナルが加速管と同軸になった同軸型タンデム加速器もある。研究基盤技術部放射線発生装置利用技術開発課では、前者のタイプであるPIXE分析用加速器システム(PASTA&SPICE)と、後者のタイプである中性子線照射システム(NASBEE)の2台の静電加速器が稼動中である。





基盤技術センター 運営企画室編

## はじめに

技術と安全の報告会は、いわゆる研究発表会とは違い、技術系の職員が日常業務で携わっている技術開発や安全・施設部門の業務を広く皆様方にご覧いただき、理解を深めていただくとともに、技術系職員相互の技術向上や交流を図ることを目的として企画されたものです。したがって、発表内容も研究内容の発表から業務活動報告まで多岐にわたっています。業務とくに、じっくり議論のできるポスター発表の申し込みが年々増えてきたこと、我々の研究現場を直接的、間接的に支えてくれる役割、派遣会社からの報告が多数あったこと、分子イメージングセンターからセンター横断的な課題の報告があったことなど、特筆すべきことが多かった報告会だったと思います。昨年からは基盤技術センターが発足したのを契機に技術系事務職の方々の報告もプログラムに組み入れ、活動の一環を紹介したことは、情報共有という意味でも意義深いことだったと思っております。また、翌日に行われた静電加速器棟共同利用研究成果発表会では、研究所内外から多くの研究成果が発表され、今回は時間的に間に合わなかったために実現しませんでした。技術開発ブース、たとえば放医研ブランドにつながる放射線計測器開発等の展示をおこなったらどうか、という提案もありました。これは研究交流コーナーを利用してもできることなので、報告会とは切り離してでもぜひ実現させていきたい、と考えています。

今年度は特別講演として大学共同利用機関法人人間文化共同機構、国立歴史民俗博物館の坂本稔先生に「放射性炭素と年代測定」と題して非常に興味深いご講演をいただきました。この紙面をお借りしてあらためて先生にお礼を申し上げます。

今年度も昨年度に引き続き、下記の通り口頭発表、ポスター発表とも優秀賞、奨励賞を設け、懇親会で表彰を行うとともに、参加できなかった方々にも発表内容



西村実行委員長 (基盤技術センター長) の挨拶

を知っていただくために玄関前ロビーに発表内容を展示しました。今後ともいろいろな機会を利用して研究支援部門の活動内容や研究技術開発について紹介していきたいと思っておりますので、皆様方のご協力とご理解をお願いいたします。

第三回技術と安全の報告会実行委員長

西村 義一

## A.口頭発表の部

口頭発表は、特別講演の1題と一般演題の4セッション18題で構成され、各講演で活発な議論が行われた。各セッションで座長を務めた方々を中心に、印象記を記していただいた。

### 1.セッション1 加速器照射技術

セッション1は文字通り最初のセッションで9時30分に始まるが、案に相違して参加者が多く、議論も活発に行われた。このセッションでは小型静電加速器を用いたPIXE装置の利用とその改良、並びにマイクロビーム

細胞照射装置 (SPICE) の開発がテーマであり、3つの演題が報告された。

### 新偏向電磁石によるマイクロビームサイズ向上の検証

濱野氏ら

電磁石の新規設計・製作により、ビーム軌道の安定化を図り、大気取り出しプロトンマイクロビームのサイズとしては世界最小の5 $\mu$ mを達成したことが報告された。シム等の磁極形状の再考察により10<sup>-5</sup>磁場平坦度の領域を $\pm$ 10mm確保し、且つ、電磁石電源の長時間安定性 (ドリフト) を0.8Tでの磁場安定度が10<sup>-6</sup>/5h以下を達成したことが、ワールドレコード達成の要因であった。この発表には、当初の設計のあり方、検収のあり方など発注メーカーとの関連について多少の議論があった。これは大型装置開発等が多い放医研として、検討されるべき課題として今後に残された。

### 気中Heイオン照射PIXEを用いた

### エンジンオイル含有元素分析手法の開発

齊藤氏ら

PIXE分析装置 (PASTA) を利用した車のエンジンオイルの元素分析の手法とその結果に関する報告である。エンジンオイルの含有元素はSやP等の軽元素が主体とされているが通常の方法では測定が難しいため、励起断面積の大きいHeイオンビームを用い、PASTAを用いた気中照射により元素分析を行った。サンプルは薄いコロジオン膜に液体ターゲットを挟み込み、気中に支持した。この方法により、他の方法では測定困難なAl-Sが測定可能となったことが報告された。試料の支持方法等、何気ないセットアップ等にご苦労と工夫が見取れるようで興味深い。また実験者にとって、期待通りにデータが得られた時が最も充実した時である。

### 液滴PIXE分析装置Droplet PIXE IIの開発 その1

今関氏ら

液滴サンプルを用いたPIXEをより精密化するための技術開発に関する報告である。2番目の分析も液体サンプルであったが、試料生成に大きな時間をかけることなく分析できるようになれば、そのメリットは極めて大きいであろう。その意味で、Droplet PIXEの確立は重大な意味を持つ。この報告では、Droplet PIXE Iに対して、小型の電離箱をビームノズル先端に取り付けて照射ビーム量を定量的に測定できるようにすると共に、7セグメントのSSD検出器を用いて立体角の拡大を図ったことが述べられた。PIXE分析の高精細化と効率化とを実現した、若しくはしつつあることがその熱意と共に伝わって来る内容であった。

「技術」と「安全」は失敗と反省を重ねながら進展するものであると感じている。しかし、誰も失敗談を発表する気にはならず、「うまく行った」を強調したいものである。そこを取って「失敗例とその分析」を報告する機会があれば、違う意味で極めて意義深いものと思う。事務局には御検討戴いては如何であろうか。

重粒子医科学センター物理工学部

取越 正己

## 2.セッション2 安全管理と施設管理

本セッションでは、基盤技術センター安全・施設部の石井一宏氏（放射線安全課）、植松勇器氏（安全対策課）、上野利之氏（施設課）による3件のご報告があった。

### 下限数量以下の非密封放射性同位元素の 管理区域外使用に向けて

石井氏

平成17年6月1日の法改正により非密封放射性同位元素も下限数量以下であるならば管理区域外使用が認められるようになったことを受けてから現在に至るまでの対応状況と今後の課題等について報告された。一見規制が緩くなるようで研究者には嬉しい規則改正のように思えるが、リスクや管理上の面倒が増えるのは頭が痛いことだ。安全行政と研究開発の両立という円満解決の難しい問題に真摯に取り組まれている姿勢に感銘を受けた。



基盤技術センター 石井氏（口頭発表奨励賞受賞）

### 独法後の所内における安全管理体制

植松氏ら

放医研が国立研究機関から独立行政法人へ変化する中における職員の一般労働安全管理体制の変遷について

報告された。ヒヤリハットの方策を具現化する取組みについてお話をうかがい、安全対策の対象になるのは放射線だけではないこと、陰ながら職場の安全を支えてくださっている方がいることに改めて気づかされた。この場をお借りして植松氏他関係者の皆様に敬意と感謝の意を表したい。

### 研究所の施設設備長期利用計画と

#### 現状の実施状況について

上野(利)氏

セッションの締めくくりは、「トピック発表」として、上野氏から放医研の施設設備長期利用計画の内容と実施状況についての報告があった。設立50年を機に施設設備等整備利用委員会で入念に審議され昨年報告書にとりまとめられた施設整備に係る長期計画の内容が、よく練られたスライドを用いて具体的に示され、最近所内で頻繁に行われている工事がどういう意図で行われているか理解する良い機会となった。この魅力ある計画に沿って放医研が景観の美しい研究所に生まれ変わることを願って止まない。

本セッションで報告をされたお三方は、いずれも昨年(2007年)放医研に入られたフレッシュマンである。セッション開始前は少し緊張されているのではないかと心配していたが、ご講演はどなたも堂々としていて、見やすいスライドと流暢な語り口で重要な点を明瞭に説明されたのには正直驚いた。彼らのような優秀で謙虚な職員が放医研の基盤をしっかり支えてくれているのは頼もしい限りである。

放射線防護研究センター環境放射線影響研究グループ

保田 浩志

## 3.セッション3 実験動物関連技術1

実験動物に関連するのは、口頭発表18演題のうち7演題であったが、以下本セッションの4演題についての感想を記す。なお、演者の所属はOP-9のみ防護センター・防護技術部、他はすべて研究基盤技術部と(株)ネオステックの共同研究であった。

### 探索研究棟サル検収室における

#### マーモセット飼育用設備の改良

重兼氏ら

動物実験には時流があり、使用される動物種にも変遷がある。サル類の場合、アカゲザル、カニクイザル、ニホンザル、マーモセットが汎用されているが、近年マーモセットを用いた研究が増大している。本発表では研究者の要望により一度に出来る検疫匹数を現行の6匹から10匹へ増やすためにケージ等を改良し、従来よりも日数を1ヶ月短縮したとの報告があった。施設管理側で工夫し、要望に答えたという点で聞き甲斐のある発表であった。

### サル類腸内細菌検査結果を動物施設の衛生状態の

#### 指標とするための一考察

成川氏ら

実験動物を管理する際に動物の健康状態を把握しておくことは不可欠である。本発表では定期的におこなっているマカク属サルの腸内検査で得られた結果からサルの健康状態を確認しようとするものである。ただし、当所の飼育施設、研究内容により単純に個体ごとの状態と判断できない点を考慮して細菌種を選定し、検出頻度、推移等について考察している。実験動物・動物施設の衛生管理はこのような地道な作業によって支えられていることを再認識させてくれる発表であった。

## 放医研における動物用診断装置の特徴と

### 実験動物技術者の役割

遠藤氏ら

当所はわが国で唯一の放射線に関する総合研究機関であり、医学という名を標榜していることから研究・診断・治療を一環しておこなえるという特徴をもっている。本発表は当所に設置されている動物用の診断装置について概説し、装置ごとに使用される実験動物種とその際の実験動物技術者に要求される「動物の取り扱い」の重要性を述べている。当所の研究は研究者・装置技術者・実験動物技術者が一体となっておこなわれることを紹介してくれる発表であった。

### 実験動物メダカを用いて放医研で

#### 提供可能な実験技術について

丸山氏

実験動物というとマウス・ラットのような哺乳類が頭に浮かぶが魚類にも実験動物として使用されている動物がいる。メダカはわが国で実験動物として開発された歴史があるが近年の分子生物学の隆盛とともに遺伝子レベルでの研究が進んでいる。発表者は具体的にこれらの技術を紹介し、メダカの実験動物としての有用性を述べている。「メダカでこんなことも出来るのか!」と考えさせてくれる発表であった。講演を聞きながら玄関ロビーのメダカを思い浮かべた。

基盤技術センター研究基盤技術部

西川 哲

#### 4.セッション4 実験動物関連技術2、生物実験機器技術

放射線による生体影響を調べてそのリスクを推定し、放射線防護体系の構築に取り入れていくために、さらにその影響の発生機序を解明して予防・診断に応用するためには、ヒトの疫学調査と並んで動物を用いた生物実験が必要不可欠である。セッション4では、そのような生物実験を支える実験動物技術と生物実験機器技術に関する発表が行われた。

##### 自然発症腎がんラットに見られた腎臓の動脈硬化性病変について

小久保氏ら

生後約1年で腎がんを自然発症するEkerラットのうち生後30週を経過したところから体重減少を示す個体を見だし、約5%の発症率で腎臓に動脈硬化性病変を認められた症例について報告した。この病変は、腎がんに関連する遺伝子TSC2に変異を持たない野生型のラットでも生じることから、TSC2遺伝子とは関係なく発症することを示し、また、病理組織学的な検討を加えた結果、動脈・細動脈性腎硬化症と診断した。放射線の影響を調べる動物実験では、まずどのような自然発症病変を持つ動物を選択するかにより実験の成否が左右される。放医研で使用されている動物のこのような背景データの収集・蓄積と、データベース化による利用の推進などをさらに期待したい。

##### マウスにおける黄色ブドウ球菌Staphylococcus aureusの症状と同定検査法の改良

石田氏ら

本来、S.aureusは感染しても発病することは極めて稀だが、免疫不全動物や放射線照射をした動物では包皮炎や化膿性肉芽腫性皮膚炎など重篤な症状を誘発させるこ



基盤技術センター 石田氏(口頭発表奨励賞受賞)

とがある。そこで感染を最小限に抑えるために簡便で迅速な同定方法の改良を試み、48時間以内で同定できる検査法を開発した。加えて、16SリボゾームRNAの検索から放医研で分離されたS.aureusは全て同一であるが、既知のS.aureusとは異なることを見いだした。今後、どの程度の汚染から対策を講じるべきなのか、今回の同定方法が汚染対策の改善に応用されるよう期待したい。

##### 放射線医学総合研究所にて行ったマウスの体外受精と凍結保存データの総括

鬼頭氏ら

マウス各系統の維持管理や遺伝子改変マウスの作製において、体外受精と凍結保存は不可欠な技術である。体外受精率が高く安定しており、また凍結保存後の生存率が高ければ、実験動物の生産を効率よく行うことが出来る。発表では各系統における精子処理や受精培地の種類、遺伝的背景が受精率に与える影響等について説明がなされた。これらの情報と共に凍結保存細胞が、放医研独自のリソースとして充実されていくことが期待される。

##### 透過型電子顕微鏡(TEM)を用いた組織形態学手法の有用性について

保田氏ら

TEM撮影のための試料作製方法について、特にメダカ胚の脳の場合における改良点について報告した。電子顕微鏡により、放射線照射によって発生中の脳に誘発されるアポトーシス像の形態を詳細に観察することが可能となった。放医研には現在稼働している透過型電子顕微鏡が無いのは残念であるが、今回超薄切片試料の作製法が紹介された事をきっかけに、放射線関連分野の研究において電子顕微鏡の使用が増えることを願う。

##### 高感度・高速細胞分取装置FACS Ariaの精度維持管理法の確立

前田氏ら

共同実験施設にあるFACS Ariaの紹介と精度維持管理法について報告した。この装置は、細胞1個ごとにその大きさや染色の程度を測定し、希望する細胞のみを分取できる機能を備えている。発表では、実験に必要な準備や精度管理の手順等の説明に加え、実際に放射線照射により培養細胞内に活性酸素種が増加していることを示すデータを紹介した。この装置の優れたところは、マイクロプレートの1つのウェルに1個ずつ細胞を分取できる機能も付加されていることであり、各臓器や腫瘍組織中の幹細胞の性状や放射線感受性を調べるのにも威力を発揮するだろう。

以上、生物系技術に関する発表について概括したが、実験技術と研究は、例えていうと土台とその上の構築物と言える。正確なデータは確かな技術によって裏打ちされるものであって、不明な要因によりデータに変動の多い生物実験では、その精度管理はなおさら重要である。

今回発表された技術がさらに改良されて発展し、研究の進展につながっていくことを期待したい。このような発表会により放医研の中にどのような技術があるのか知る機会を得たことは有益であったし、今後も継続されることを望む。活発な質疑応答により予定時間を超過してしまったのは座長として申し訳なかったが、今後も参加・協力することを約束してお許し願いたい。

放射線防護研究センター 発達期被ばく影響研究グループ  
山田 裕

#### 5.セッション5 加速器技術、放射線計測技術

第3回技術と安全の報告会の最後の第5セッションの座長をしてみ、割合身近に居るにもかかわらず、まとまった講演として聞く機会が無かったので大変興味深く聞かせてもらった。直前に伝えられたセッションのタイトルは「加速器技術、放射線計測技術」で、講演数が4演題であった。この技術と安全の報告会は、いわゆる研究発表会とは異なり、放医研の技術系職員が日常携わっている技術開発、装置の工夫、改良、安全・施設部門の業務などを広く知ってもらうために、技術系職員相互の技術向上や交流を図ることを目的として企画されたところ。講演要旨集にその演題と内容が書かれているが、当然の事ながらそれぞれの講演の中味を見ると、それぞれの分野での経験等の長さにより様々であった。日常業務で使っているソフトウェアに関するものから、これまで長期間かけて開発してきた仕事の最近の進展、さらに長期間かけて行った開発のまとめと色々なタイプの講演であった。従って、そのレベルも、簡単な改良から、複数の論文としてまとめられて、さらに今後実際の製品となるものの開発まで多様であった。最初はもう少し違った講演のまとめ方

があるのではと思って座長をし、各講演をその場で聴いていたのであるが、少し後になってみると、いろいろな講演が混じることこそが技術の仕事に関する講演の特徴なのだと思います。仕事のそれぞれのステップで解決すべき課題があり、それはそれぞれ技術的な仕事として発表できる。さらに、それらをまとめて1つの大きな技術開発の仕事として発表することもできるのだから、当然かもしれない。それに、いろんな段階の話を開けることで、特に若い人にとって参考になることが多いのではないだろうか。又一般的には、技術的な仕事をしていると、その自分の仕事をまとめてみんなの前で発表する機会はそれほど多くないのではないだろうか。その意味でも、このような報告会がもたれて発表する機会があるのは大変重要で良い事と思う。今後もこのような報告会がもたれ、できるだけ多くの人が自分の仕事をまとめて発表できようように報告会を工夫できたら良いと感じた。以下、ここの発表に関して簡単に紹介する。

#### サイクロトロン磁場計算プログラムの

#### OSバージョンアップ対応

杉浦氏ら

放医研サイクロトロンでは、新しいエネルギー粒子を加速する際、核種とエネルギーに最適な磁場と加速器周波数の計算にサイクロトロン磁場計算プログラムN930CSが用いられている。このプログラムは、1980年に作られたため、WindowsXPに対応しておらず、旧式のパソコンを使用しなければならない。普及しているパソコンでも動作するように、nag製Fortran BuilderをしてWindowsXPに対応が行われた。変数のやりとりなど、細かい点の対応までカバーしなければならず、地道な作業である。このバージョンアップの対応により、

今後、安定的な計算を行うことができ、サイクロトロン維持に必要な仕事である。今後もサイクロトロンの安定したビーム供給に努力していただきたい。

#### ECRイオン源用金属蒸発源の開発

村松氏ら

本発表では、kei2-sourceを用いて鉄とフラーレンの合成に関する基礎実験に必要なイオン源の開発が行われた。いかに効率良く鉄イオンを生成するのかが課題である。従来は、鉄イオンの生成には、常温で昇華するフェロセンを用いられているが、鉄イオン以外のイオンの存在により生成量を上げることができない。今回は、新しい純度の高い鉄イオンを作り出す手法として、鉄イオン源としてイオンダクシオンオープンの開発が行われ、プロトタイプ実験としては良好な結果が得られ、今後の発展に期待をしたい。

#### 小型ECRイオン源のガスパルスによる

#### ビームテストについて

北條氏ら

PET診断薬の生成に用いられるC11製造、回収技術を応用し、HIMACでC11ビーム重粒子線治療への利用が検討されている。ここで重要なのはいかに効率良くC11をイオン化することである。通常のイオン源のガスは連続供給されているが、HIMACイオン源はパルス運転されているため、イオン源として利用されないC11が多い、これをイオン源のパルス運転と合わせてC11を供給することで、C11供給の効率を増加することが出来る。小型ECRイオン源にガスパルスシステムを導入したビームテストについての発表があった。今後のHIMACへの導入に期待が持てる内容であった。



重粒子医科学センター 北條氏(口頭発表優秀賞受賞)

#### 全方向性γ線検出器の開発

#### —原子力発電所用モニタリングポストへの応用展開—

白川氏ら

全国の原子力施設周辺には、環境放射線線量用のモニタリングポストが設置され、放射線レベルが24時間監視されている。そのモニタリングポストが異常値を示した場合、早急に原因を調べる必要があるが、飛来した方向が分からないので、発生源を同定するのに時間を要した。発表された検出器は、ガンマ線の飛来方向を同定できる画期的なものである。成果は、多くの論文、特許、さらに外部資金を得ており、素晴らしい。今後、この技術はメーカーに渡し、実際のモニタリングポストに利用されるようであり、楽しみである。

重粒子医科学センター物理工学部

金澤 光隆

#### 6.特別講演 「放射線炭素と年代測定」

国立歴史民俗博物館の准教授 坂本稔先生に特別講演をして頂いた。

放射性炭素(C<sup>14</sup>)による炭素14年代測定法とは、自然界に存在する炭素14の存在度から、試料の年代を測定する方法である。大気中の炭素14は、宇宙放射線の作用により生成され、生物圏に取り込まれていく。死亡等の理由により生物の代謝が止まり、炭素交換が行われなくなった時が、年代測定の時計が開始された時である。宇宙放射線強度の変動により、炭素14の生成量は年々変動するが、この変動は樹木の年輪中の炭素14の存在度として固定され、記録されている。炭素14の半減期は、5,730年±40年であることから、生物の生きていた時代の炭素濃度が特定できれば、試料中の現在の炭素濃度と比較することで年代を精度高く特定できる優れた年代測定法であると伺った。

ごく微量の炭素14を検出するためには、放射線の変動の際に放出されるβ線を検出する方法が取られたてきたが、近年は、加速器質量分析計(AMS装置)による同位体分離による測定法が普及し、少量の試料であっても高い精度・高い効率での測定が可能になったそうである。最近、注目される静電加速器の新しい利用方法であるが、AMS装置として専用設計したものでなければならず、我々の静電加速器では、利用できないのが残念である。

AMS装置による年代測定法は、我が国では1950年代から導入され、最初の年代測定結果が1951年に報告されている。ところが1960年の年代測定結果が、考古学における一大論争を起こしてしまった。所謂、夏島事件と呼ばれるもので、神奈川県夏島貝塚から出土した木炭やカキ殻の炭素14による年代測定の結果が、従来の土器等による年代測定の結果より、縄文時代の開始年代を数千年以上もさかのぼらせるという報告をしたことによる。学会全体を巻き込む大論争に発展し、一部には炭素14年代測定法に対する不信感も生まれ、現在でもそ



国立歴史民俗博物館 坂本先生(特別講演)

の影響が続いているそうである。最近になり、文献等による年代が特定されている試料の炭素 14 年代測定法による結果とが良く一致しているという事実から、歴史上の資料等による年代測定と炭素 14 年による、絶対年代測定法を組み合わせる年代を推定する方法がようやく認知されてきたとの事。先生のご講演では、放射性炭素年代方の黎明期から現代に至るまでの過程を、わかりやすく、親しみやすくかつ淡々とお話頂いたが、黎明期における先駆者の苦労は大変なものがあったに違いないと、あらためて坂本先生等の功績に頭が下がる思いである。

基盤技術センター研究基盤技術部  
今関 等

## B.ポスター発表の部

ポスター発表の演題数は 29 題あり、昨年度のほぼ倍となってこの報告会が所内で確実に定着してきたことが伺える。発表は主に 4 分野にまとめられ、各分野ごとにこの報告会の実行委員が印象記を記した。



ポスター発表会場

### 1.加速器関連分野

加速器に関連する発表はバラエティーに富んでおり、いずれも日々の創意工夫が光るものであった。加速器アプリケーションについても発表があり活発な議論が行われた。放医研では加速器は加速器でもそれぞれ加速原理から運営管理ならびにユーザーのアプリケーションもまったく異なり、それぞれの加速器でのユニークなトピックが光るものであった。

発表者はそれぞれ地道に放医研の研究をささえている技術者であり、技術者相互ならびに研究者との親睦も和やかに行われていた。ポスター発表では、以下の 5 題があった。

#### 静電加速器棟 (PASTA&APICE) における利用状況2007 磯氏ら

静電加速器棟の運転状況ならびにマイクロビーム関連に関する発表があり、ビーム調整を含め平均 9 時間/日の稼動状況等の活発なアクティビティが示された。2007 年度よりシングルイオン照射システムの稼動ならびに実験開始により相対的に PIXE 分析のマシントime が減少しているにもかかわらずユーザーが増加しており、R&D やメンテナンスの時間を割いてユーザーにマシン



(株)ネオス・テック 磯氏(ポスター発表奨励賞受賞)

タイムを割り振る工夫を行っているが、外部ユーザー対応のため深夜近くまで運転を行う等、ひずみが出始めている感がある。マシントime の更なる増加が見込まれる場合、ビームラインの増設ではなく新たな加速器施設そのものの建設も必要ではないかと感じた。

#### X線棟の現状2007 石川氏ら

X 線棟関連では各種装置の運転状況の報告とともに X 線照射装置の照射野測定に関する詳細な報告があった。昨年の放射性物質の管理等の問題から X 線作業についても管理を徹底することとなり業務量が増えている。さらに第三照射室の X 線発生装置のメーカーサポートが終了し、機器そのものもトラブルが続きマシントime 提供が停止する事態がたびたびあった。幸いにも 2007 年度末に当該 X 線発生装置が更新され、装置の仕様や設置状況についての報告があった。X 線棟は老朽化が激しく空調設備等の更新が必要なることもさることながら遮蔽についても時代遅れとなっており、管理運営の苦勞が感じられた。

#### 中性子線照射装置 (NASBEE) の現状2007 須田氏ら

低線量棟中性子照射装置に関する発表では、本格的に実験が開始され円滑な運用を行うための各部門とのルール構築やさまざまな取り決めに関する報告があり試運転から本格運用に移行していることを強く印象付けた。マウス・ラットの照射が中心の施設であるが、細胞実験ユーザーからの照射の希望も強く 2007 年度初頭から細胞実験のための環境整備に取り掛かった。中性子照射実験では照射されたサンプルの放射化が最大の問題であり、放射化減衰前の取り扱い等でさまざまな工夫がなされていた。

#### MU値測定の実験プリセット値の削減の検証 熊谷氏ら

HIMAC 関連では MU 値測定の省力化やスキニング照射に関する報告があり、現場の技術者の活動が活発であることをアピールしていた。治療前の QA 測定のためにビーム利用時間の 1/3 を割いており、患者数の増加に伴い放射線管理上のビーム利用時間の制限がネックになりつつある。このため測定データ数を減じて対応できるかこれまでのデータの解析を行い、測定回数とデータのばらつきを検討し簡略化を決断した。普及化の推進のために何らかのブレイクスルーが求められる研究でもある。

#### スキニング照射試験要請後装置への試験機能実装 佐藤氏ら

小動物に対する 3 次元スキニング照射試験用の制御装置を開発に対する報告があり、今後の更なる改良を経て様々な研究用途に使用されることが期待される。

今回の技術と安全の報告会では加速器関連の現場技術者の創意工夫はなかなか論文等に発表されないあるいは発表しにくい性質のものが多く（知財的な側面も含めて）、今回のような報告会で大いに評価するべきである。また、技術者相互の交流の場でもありポスター会場の立錫の余地もない状況は放医研の技術者集団として意欲の高さの発露であり頼もしい限りである。

基盤技術センター研究基盤技術部  
宮原 信幸

## 2. 実験動物関連分野

ポスター発表では、職員のみならず役務職員の参加が目立った。実験動物に関しては、29題中11題と全発表数の1/3を超えており、口頭発表でも全19題中9題が実験動物関係であることから、実験動物関係者の積極的な発表が目立った。

実験動物関連のポスター11題の内訳は、施設紹介が2題、業務関連が6題、技術開発及び研究成果が3題であった。これらの印象を以下順に記す。

### 実験動物研究棟の施設管理の状況、及び稼働状況

館野氏ら

実験動物研究棟の動物管理区域内がコンベンショナル区域でありながら、SPF区域に匹敵するような極めて高い衛生レベルを保っている様子が紹介された。決して設備的には恵まれているとは言えない実験動物研究棟でこのような高いレベルを維持できるのは、従事している職員・役務職員の努力のみならず、利用者である研究者・技術者等の協力なしには達成することは極めて難しく、利用者及び飼育管理者が一体となって築きあげてきた成果であると言える。



基盤技術センター 館野氏（実行委員長特別賞受賞）

### 平成19年度の低線量影響実験等の施設管理の活動状況、及び稼働状況

館野氏ら

放医研では遺伝子組換え動物を使用するケースが年々増加しており、低線量影響研究棟では、SPF区域内でP2レベルの動物実験や照射が行えるようになったことで、研究の更なる飛躍が期待される。

### 放射線医学総合研究所にて行った

#### マウス体外受精と凍結保存データの総括

太田氏ら

### 放医研で維持・生産されている15マウス系統の胚凍結保存

海野氏ら

### 放医研における近交系マウス系統の

#### 遺伝学的モニタリングシステムの確立

海野氏ら

当研究所は動物実験を行う施設でありながら、動物の

生産や胚凍結等も行っている国内でも数少ない機関であり、極めて高いレベルの技術を有している。今回の発表でも新しい技術の開発や工夫を行った成果が発表されており、安定した高体外受精率を維持する技術の開発や効率的な凍結胚の操作方法の導入、新しい遺伝モニタリング法で古いサンプルでも検査が可能になるなど業務の効率化に寄与している。

### アイソレーター作業効率を改善するための一考案

石原氏ら

ビニールアイソレーターに関する作業の工夫についても発表があり、職員や役務職員がより効率的で衛生的な環境を目指している姿勢がうかがえた。

### SPF動物生産・実験棟でクリーン化した

#### C3H/HeNrsの現状報告

伊藤氏ら

3年ほど前から自家生産していたマウスで発生した従来とは異なる遺伝子型の黄色ブドウ球菌に対する清浄化についての報告があり、対策に負われた職員・役務職員の努力の成果がうかがわれた。

### 浜松医科大学・医学部附属動物実験施設における

#### 技術研修報告

上野(渉)氏

遺伝子タイピング等の技術を外部機関で習得した報告があり、今後所内での動物の生産・維持等の業務で効果的に導入されることが期待される。

### B6C3F1マウスを用いた発達期被ばく影響

#### -体重への影響-

森竹氏ら

発達期のマウスに様々な条件で放射線被ばくを行うと、体重増加が認められる等興味深い結果が報告された。

### C57BL/6J幼若マウスを用いた

#### 過排卵、体外受精、体外培養、移植後の個体発生

鬼頭氏ら

発生工学の分野では、幼弱動物の個体発生能についての研究発表があり、業務の効率化につながってゆくのかも含め、今後の結果が注目される。

### マウスの喰殺に関する研究

#### -(1)里親が里子を「喰殺する」系統差-

新妻氏

胚移植等で利用される里親が里子を喰殺するケースについての結果が一部発表され、従来から言われている哺育能力が優れている系統のマウスが意外にも高い確率で喰殺を行う結果が明らかになるなど、今後の続報が期待される。

一口に実験動物分野とは言え、様々な内容のポスター発表があり、通常業務の中から工夫して開発した新しい技術や新しい知見を得て、これらをもとに施設・技術の向上につなげてゆくなど、いずれも大変興味深い内容であった。

基盤技術センター研究基盤技術部

重兼 弘法

### 3.分子イメージング関連分野

去る平成20年3月13日に行われた第3回技術と安全の報告会における分子イメージング関連のポスター発表に関してここに述べたい。

#### 多核種対応型多目的装置用新合成ユニットの開発

鈴木(寿)氏ら

従来のPETプローブ合成装置は、1種類の反応系に対する専用装置であり他反応系に対し応用が困難であったが、鈴木氏らは合成ユニット交換だけで多種の反応系に対応可能な合成装置を開発したこと、この合成装置を用いて実際の臨床に使われている薬剤が効率良く合成されていることを発表した。現在注目されている中長半減期核種への応用も可能とのことで、今後更にこの合成装置の優位性が明らかになるものと思われる。

#### PETプローブの臨床製造と品質管理

中尾氏

高品質のPETプローブを所内および他施設に安定供給するため、しっかりとした組織の下に運営されていることが理解できた。また、新規臨床用PETプローブに関しても18年度までに57種の承認が得られ、19年度には5種の承認が見込まれているそうである。

#### 標識薬剤の製造と利用状況について

根本氏

今年度は、脳機能臨床研究では13化合物を220人の被験者、腫瘍臨床研究では4化合物を1,004人の被験者に提供したとのこと。驚くべきはその提供達成率で、実に99.2%の高い値を出している。

これらの上記3題は、放医研が非常に優れたPET薬剤

合成の基盤技術を有していることの証でありこの技術力が分子イメージング研究センターを支える大きな力となっていることを印象づけた。今後は、長年の努力で築き上げたこの確固たる技術を継承するとともに、放医研オリジナルなPETプローブの合成等更なる発展を期待したい。

#### 放医研ICP-MSによる

##### ヒト中皮腫細胞内マンガン、銅、亜鉛含量の測定

越川氏ら

放医研ICP-MS(誘導結合プラズマ質量分析)装置を使ったヒト中皮腫細胞内の微量元素分析について報告した。越川氏らは、ある種の中皮腫細胞で正常中皮細胞と比べマンガンや銅が高い値になっていることを示した。更に、観察されたマンガンの高値は酸化ストレス防御に重要なMn-SODの量と相関していることを示した。それらの結果が中皮腫発がん過程にどのように関与しているかはまだ明らかされていないのは残念であったが、これは今後の大きな課題となるであろう。これからの発展に期待したいところである。なお、越川氏らの発表は、研究のユニークさとセンター横断的な研究であることが評価されポスター発表優秀賞に選ばれた。いつもは放医研の環境影響分野で活躍している測定技術をやや異分野である生物医学研究に応用した研究が選ばれたことは、筆者には今後の放医研のあり方や方向性を示しているのではないかと感じる。非常に印象的であった。



分子イメージング研究センター 越川氏(ポスター発表優秀賞受賞)

分子イメージング研究センター 分子病態イメージング研究グループ 長谷川 純崇

### 4.情報システム・安全管理等の分野

このセクションでは、放医研の研究を支える基盤的な発表が行われ、我々が安心して研究業務に専念できることに感謝するのみである。

#### 放射線医学総合研究所における

##### 「安全活動の取り組み」について

植松氏ら

昨年10月に発足した「安全活動推進室」の活動状況として、昨年の代表的な事例とその具体的な改善策についての報告がなされた。身近に潜む危険を未然に防ぐための対策を積極的に取り組まれたおかげで、安心して研究業務に励むことができる。

#### 「産業利用される自然起源の

##### 放射性物質(NORM)に関するデータベース」構築

黒田氏ら

規制科学総合研究グループで取り組まれた産業材料物質の利用実態調査と放射能濃度調査の情報を集約したデータベースに関する報告がなされた。膨大なデータを集約し、一般の方々でも使いやすいように構成されており、その苦労が垣間見られた。

#### 万年WEBカレンダーの作成と応用

前田氏ら

共同利用機器の登録管理に必要なカレンダーに、祝祭日を自動的に組み込まれるカレンダーを作成したシステムの報告がなされた。何気なく利用している予約システムにも、無くては困る機能が改善されており、長年にわたり安心して利用できるシステムが作られているのには感謝する次第である。

#### クロスプラットフォーム対応かつ安全な

##### 画像サーバーシステムの構築と運用

##### -Mac OSX Serverを用いて-

下村氏ら

画像診断、解析で利用される大容量の実験データを柔軟かつ安全に管理するために、Mac OSX ServerとXserve RAIDを用いた高速処理可能なシステムの構築に関する報告がなされた。報告されたシステムは、従来と比較して安価で高速処理が実現でき、システムを利用するユーザーは大きな恩恵を被っていることが分かった。

#### 放医研における実験に関する

##### 申請手続きガイドについて

松下氏ら

放医研で遭遇する放射線に関わる実験や遺伝子組み換え実験、動物実験など各種実験を実施する前、終了時に必要な申請手続きガイドに関する報告がなされた。本報告は、放医研で行われている実験には多くの部署が複雑に関係していたが、その複雑さが解消されたことは研究者にとって大変、有益なものである。便利なガイドを作り、的確な研究支援を行った点が評価されて、技術報告会のポスター部門奨励賞を受賞した。



基盤技術センター 松下氏 (ポスター発表奨励賞受賞)

#### 共同実験施設の管理2007

高野氏ら

放医研で運用している共同実験施設および機器の保守管理の19年度の現状について報告がなされた。共同実験で利用される施設や機器は、安定して動作しているの

が普通であるために、常日頃の保守メンテが欠かせないが、利用者は率先しては行わない作業である。その作業を毎日、行っていただいていることには、感謝するのみである。

基盤技術センター研究基盤技術部  
高田 真志

おわりに

放医研の技術を担当する職員を中心に始まったこの報告会も、今年で3回目（毎年度開催）を迎えました。ポスター演題数が昨年の倍となり、職員以外にも放医研で活動している方達の参加をいただくなど、お陰様でこの報告会はすっかり放医研に定着してきました。

基盤技術は放医研の素晴らしい研究を支えるのみならず、成果に向かって邁進する機関車の動輪の片側となり、研究活動を牽引するための大事な役目を果たしています。この報告会を通して所内の交流が深まり、研究がより活性化すると共に、技術を担当する者にとって切磋琢磨するきっかけのひとつとなり、基盤技術がより一層向上することを願っています。

最後になりましたが、時間のない中を報告会の座長役を気持ちよく引き受けていただき、さらに印象記を書いて下さった皆様、および数多いポスター発表の印

ポスター

象記を要領よくまとめて下さった実行委員の皆様にお礼申し上げます。

基盤技術センター 副センター長  
松下 悟

第3回技術と安全の報告会プログラム

平成20年3月13日 放射線医学総合研究所重粒子治療推進棟 大会議室 9:20~17:35

開会の挨拶	9:20~9:30	米倉理事長	
セッション1 (座長:取越正己)	9:30~10:15	OP-01 9:30~9:45	新偏向電磁石による マイクロビームサイズ向上の検証 ○濱野毅 <sup>1</sup> 、石川剛弘 <sup>1</sup> 、磯浩之 <sup>2</sup> 、小西輝昭 <sup>1</sup> 、酢屋徳啓 <sup>1</sup> 、今関等 <sup>1</sup> 、 高野光司 <sup>3</sup> 、高野佳子 <sup>3</sup> 1基セ 研究基盤技術部、2機ネオス・テック、3術タカノ技研
	【加速器照射技術】	OP-02 9:45~10:00	気中Heイオン照射PIXEを用いた エンジンオイル含有元素分析手法の開発 ○齊藤勝美 <sup>1,2</sup> 、石川剛弘 <sup>1</sup> 、磯浩之 <sup>2</sup> 、小西輝昭 <sup>2</sup> 、今関等 <sup>2</sup> 、長谷川就一 <sup>4</sup> 、 伏見暁洋 <sup>4</sup> 、小林伸治 <sup>4</sup> 、田辺潔 <sup>4</sup> 1客員研究員、秋田県健康環境センター、2基セ 研究基盤技術部、 3機ネオス・テック、4国立環境研究所
		OP-03 10:00~10:15	液滴PIXE分析装置 Droplet PIXEの開発 その1 ○今関等 <sup>1</sup> 、石川剛弘 <sup>1</sup> 、磯浩之 <sup>2</sup> 、濱野毅 <sup>1</sup> 、酢屋徳啓 <sup>1</sup> 、小西輝昭 <sup>1</sup> 、前田武 <sup>1</sup> 1基セ 研究基盤技術部、2機ネオス・テック
セッション2 (座長:保田浩志)	10:15~11:15	OP-04 10:15~10:30	下限数量以下の非密封放射性同位元素の 管理区域外使用に向けて 石井一宏 基セ 安全・施設部
	【安全管理と施設管理】	OP-05 10:30~10:45	独法後の所内における安全管理体制 ○植松勇器、宮後法博、森川康弘、菅野孝行 基セ 安全・施設部
		TP-01 トピック 発表 10:45~11:15	研究所の施設設備長期利用計画と 現状の実施状況について 上野利之 基セ 安全・施設部
11:15~11:30	コーヒープレイク		
セッション3 (座長:大林茂)	11:30~12:30	OP-06 11:30~11:45	探索研究棟サル検収室における マーモセット飼育用設備の改良 ○重兼弘法 <sup>1</sup> 、成川覚 <sup>2</sup> 、山口龍二 <sup>2</sup> 、箱田詩織 <sup>2</sup> 、松田優一 <sup>2</sup> 、 河合直士 <sup>2</sup> 、北爪雅之 <sup>2</sup> 、西川哲 <sup>1</sup> 1基セ 研究基盤技術部、2機ネオス・テック
	【実験動物関連技術1】	OP-07 11:45~12:00	サル類腸内細菌検査結果を動物施設の 衛生状態の指標とするための一考察 ○成川覚 <sup>1</sup> 、箱田詩織 <sup>1</sup> 、山口龍二 <sup>1</sup> 、松田優一 <sup>1</sup> 、河合直士 <sup>1</sup> 、 北爪雅之 <sup>1</sup> 、亀井淳 <sup>1</sup> 、重兼弘法 <sup>2</sup> 、石田有香 <sup>2</sup> 、小久保年章 <sup>2</sup> 、西川哲 <sup>2</sup> 1機ネオス・テック、2基セ 研究基盤技術部
		OP-08 12:00~12:15	放医研における動物用診断装置の特徴と 実験動物技術者の役割 ○遠藤節子 <sup>1</sup> 、重兼弘法 <sup>1</sup> 、成川覚 <sup>2</sup> 、山口龍二 <sup>2</sup> 、箱田詩織 <sup>2</sup> 、 松田優一 <sup>2</sup> 、河合直士 <sup>2</sup> 、北爪雅之 <sup>2</sup> 、西川哲 <sup>1</sup> 1基セ 研究基盤技術部、2機ネオス・テック
		OP-09 12:15~12:30	実験動物メダカを用いて放医研で 提供可能な実験技術について 丸山耕一 防セ 防護技術部
12:30~13:15	(昼休み) ※ポスターの見学は昼休み中も可能です		
ポスターセッション	13:15~14:00	PP-01~PP-27 (ポスターの掲示は12:00までに) 重粒子治療推進棟地下 セミナー室	
セッション4 (座長:山田裕)	14:00~15:15	OP-10 14:00~14:15	自然発症腎がんラットに見られた 腎臓の動脈硬化性病変について ○小久保年章 <sup>1</sup> 、渡辺文子 <sup>2</sup> 、久保泰子 <sup>1</sup> 、入谷理一郎 <sup>3</sup> 、中台妙子 <sup>1</sup> 、 館野香里 <sup>3</sup> 、浅野まき <sup>3</sup> 、西川哲 <sup>1</sup> 1基セ 研究基盤技術部、2防セ 発達期被ばく影響研究G、3機サイエンス・サービス
	【実験動物関連技術2、 生物実験機器技術】	OP-11 14:15~14:30	マウスにおける黄色ブドウ球菌 Staphylococcus aureusの 症状と同定検査法の改良 ○石田有香 <sup>1</sup> 、小久保年章 <sup>1</sup> 、入谷理一郎 <sup>2</sup> 、館野香里 <sup>2</sup> 、早尾辰雄 <sup>1</sup> 、新妻大介 <sup>2</sup> 、 伊藤正人 <sup>2</sup> 、伊田大貴 <sup>2</sup> 、藤井功輔 <sup>2</sup> 、大久保壽司 <sup>2</sup> 、宮沢正光 <sup>2</sup> 、川原隼 <sup>2</sup> 、西川哲 <sup>1</sup> 1基セ 研究基盤技術部、2機サイエンス・サービス
		OP-12 14:30~14:45	放射線医学総合研究所にて行った マウス体外受精と凍結保存データの総括 ○鬼頭晴司、太田有紀、金子由美子、矢野浩子 防セ 防護技術部
		OP-13 14:45~15:00	透過型電子顕微鏡(TEM)を用いた 組織形態学手法の有用性について ○保田隆子 <sup>1</sup> 、吉本正美 <sup>2</sup> 、前田圭子 <sup>1</sup> 、石川裕二 <sup>1</sup> 1防セ 環境放射線影響研究G、2日本医科大学
OP-14 15:00~15:15		高感度・高速細胞分取装置FACSriaの 精度維持管理法の確立 ○前田武 <sup>1</sup> 、小西輝昭 <sup>1</sup> 、高野裕之 <sup>2</sup> 、児玉久美子 <sup>3</sup> 、Kurt Hafer <sup>1,4</sup> 1基セ 研究基盤技術部、2機東京ニュークリア・サービス、 3機ネオス・テック、4重粒子共同利用研究員、UCLA	
15:15~15:30	コーヒープレイク		
特別講演 (座長:西村義一)	15:30~16:25	SP-01 坂本 稔	放射性炭素と年代測定 大学共同利用機関法人人間文化研究機構 国立歴史民俗博物館
セッション5 (座長:金澤光隆)	16:25~17:25	OP-15 16:25~16:40	サイクロトロン磁場計算プログラムの OSバージョンアップ対応 ○杉浦彰則、本間壽廣、坂本幸雄、北條悟 重セ 物理工学部
	【加速器技術、放射線計測】	OP-16 16:40~16:55	ECRイオン源用金属蒸発源の開発 ○村松正幸 <sup>1</sup> 、北川敦志 <sup>1</sup> 、加藤裕史 <sup>2</sup> 、佐谷隆司 <sup>2</sup> 、松井祐樹 <sup>2</sup> 、渡辺綱吉 <sup>2</sup> 、吉田善一 <sup>3</sup> 1重セ 物理工学部、2大阪大学、3東洋大学
		OP-17 16:55~17:10	小型ECRイオン源のガスバルスによる ビームテストについて ○北條悟、本間壽廣、村松正幸、坂本幸雄、杉浦彰則 重セ 物理工学部
		OP-18 17:10~17:25	全方向性γ線検出器の開発 -原子力発電用モニタリングポストへの応用展開- ○白川芳幸 <sup>1</sup> 、山野俊也 <sup>2</sup> 、小林祐介 <sup>2</sup> 1企画部、2客員協力研究員、アロカ機
閉会の挨拶	17:25~17:35	白尾理事	
懇親会	18:00~	重粒子治療推進棟1階 食堂	

(口頭発表は12分、質疑応答3分)(トピック発表は発表25分、質疑応答5分)(特別講演は、講演45分、質疑応答10分)



ポスターセッション 13:15 ~ 14:00

PP-01	放射線医学総合研究所における「安全活動の取り組み」について	植松勇器、近江谷敏信、宮後法博 基セ 安全・施設部
PP-02	実験動物研究棟の施設管理の活動状況、及び稼働状況	館野真太郎、飯名瑞希、上野渉、西川哲 基セ 研究基盤技術部
PP-03	平成19年度の低線量影響実験棟の施設管理の活動状況、及び稼働状況	館野真太郎、大久保喬司、上野渉、西川哲 基セ 研究基盤技術部
PP-04	静電加速器棟(PASTA&SPICE)における利用状況2007	磯浩之 <sup>1</sup> 、石川剛弘 <sup>2</sup> 、小西輝昭 <sup>2</sup> 、酢屋徳啓 <sup>2</sup> 、濱野毅 <sup>2</sup> 、今関等 <sup>2</sup> 1: 機ネオス・テック、2: 基セ 研究基盤技術部
PP-05	ガンマ線棟296GBq137Csによるガンマ線照射場の設定	酢屋徳啓 <sup>1</sup> 、三井大輔 <sup>2</sup> 、石川剛弘 <sup>1</sup> 、前田武 <sup>1</sup> 、濱野毅 <sup>1</sup> 、平岡武 <sup>1</sup> 1: 基セ 研究基盤技術部、2: 機ネオス・テック
PP-06	X線棟の現状2007	石川剛弘 <sup>1</sup> 、三井大輔 <sup>2</sup> 、磯浩之 <sup>2</sup> 、酢屋徳啓 <sup>1</sup> 、小西輝昭 <sup>1</sup> 、濱野毅 <sup>1</sup> 、今関等 <sup>1</sup> 1: 基セ 研究基盤技術部、2: 機ネオス・テック
PP-07	マイクロビーム細胞照射装置(SPICE)の現状	小西輝昭 <sup>1</sup> 、石川剛弘 <sup>1</sup> 、磯浩之 <sup>2</sup> 、濱野毅 <sup>1</sup> 、安田仲宏 <sup>1</sup> 、酢屋徳啓 <sup>1</sup> 、今関等 <sup>1</sup> 1: 基セ 研究基盤技術部、2: 機ネオス・テック
PP-08	X線発生装置PANTAK HF-320型における照射野の調整と線量測定	三井大輔 <sup>1</sup> 、石川剛弘 <sup>2</sup> 、磯浩之 <sup>1</sup> 、酢屋徳啓 <sup>2</sup> 、濱野毅 <sup>2</sup> 、今関等 <sup>2</sup> 1: 機ネオス・テック、2: 基セ 研究基盤技術部
PP-09	中性子線照射装置(NASBEE)の現状 2007	須田充 <sup>1</sup> 、萩原 拓也 <sup>2</sup> 、酢屋徳啓 <sup>1</sup> 、高倉伸夫 <sup>3</sup> 、小西輝昭 <sup>1</sup> 、島田義也 <sup>4</sup> 、濱野毅 <sup>1</sup> 1: 基セ 研究基盤技術部、2: 機ネオス・テック、3: 基セ 安全・施設部、4: 防セ 発達期被ばく影響研究G
PP-10	MU値測定のモニタプリセット値の削減の検証	熊谷忠房 <sup>1</sup> 、取越正己 <sup>1</sup> 、小森雅孝 <sup>1</sup> 、大野由美子 <sup>2</sup> 、米内俊祐 <sup>3</sup> 、近藤貴律 <sup>4</sup> 、宇野隆之 <sup>4</sup> 、池田雅敏 <sup>4</sup> 、大前昭臣 <sup>4</sup> 1: 重セ 物理工学部、2: 重セ 次世代照射システム研究G、3: 重セ 医療放射線防護研究室、4: 加速器エンジニアリング(機)
PP-11	スキャンニング照射試験制御装置への試験機能実装	佐藤真二 <sup>1</sup> 、古川卓司 <sup>1</sup> 、稲庭拓 <sup>2</sup> 、早乙女直也 <sup>1</sup> 1: 重セ 物理工学部、2: 重セ 重粒子線がん治療普及推進室
PP-12	C57BL/6J幼若マウスを用いた過排卵、体外受精、体外培養、移植後の個体発生	鬼頭靖司、太田有紀、金子由美子、矢野浩子 防セ 防護技術部
PP-13	放射線医学総合研究所にて行ったマウス体外受精と凍結保存データの総括	太田有紀、金子由美子、矢野浩子、鬼頭靖司 防セ 防護技術部
PP-14	浜松医科大学・医学部附属動物実験施設における技術研修報告	上野渉 基セ 研究基盤技術部
PP-15	放医研における近交系マウス系統の遺伝学的モニタリングシステムの確立	海野あゆみ、上野渉、新妻大介、伊田大貴、宮沢正光、早尾辰雄、西川哲 基セ 研究基盤技術部
PP-16	放医研で維持・生産されている15マウス系統の胚凍結保存	海野あゆみ、久保えい子、伊藤正人、大久保喬司、川原隼、藤井功輔、伊田大貴、宮沢正光、新妻大介、早尾辰雄、西川哲 基セ 研究基盤技術部
PP-17	B6C3F1マウスを用いた発達期被ばく影響-体重への影響-	森竹浩之、金佳香、本多淑恵、平澤和子、角野響子、谷口順子、須藤聡美、山口悠(実習生)、高橋江里佳(実習生)、滝本美咲(実習生) 放セ 発達期被ばく影響研究G
PP-18	SPF動物生産・実験棟でクリーン化したC3H/He Nrsの現状報告	伊藤正人、石田有香、新妻大介、石原直樹、飯名瑞希、小久保年章、早尾辰雄、西川哲 基セ 研究基盤技術部
PP-19	マウスの喰殺に関する研究—(1)里親が里仔を「喰殺する」系統差—	新妻大介、石原直樹、伊藤正人、大久保喬司、早尾辰雄、西川哲 基セ 研究基盤技術部

PP-20	アイソレーターの作業効率を改善するための一考察	石原直樹、新妻大介、飯名瑞希、早尾辰雄、石田有香、川島直行、入谷理一郎、館野香里、中台妙子、西川哲、大谷鉄也 基セ 研究基盤技術部
PP-21	「産業利用される自然起源の放射性物質(NORM)に関するデータベース」構築	黒田典子 <sup>1</sup> 、岩岡和輝 <sup>2</sup> 、米原英典 <sup>2</sup> 1: 情報業務室、2: 防セ 規制科学総合研究G
PP-22	万年WEBカレンダーの作成と応用	前田武、今関等 基セ 研究基盤技術部
PP-23	クロスプラットフォーム対応かつ安全な画像サーバーシステムの構築と運用-Mac OS X Serverを用いて-	下村岳夫 <sup>1</sup> 、青木伊知男 <sup>1</sup> 、菅野巖 <sup>2</sup> 1: 分セ 先端生体計測研究G、2: 分セ
PP-24	放医研における実験に関する申請手続きガイドについて	松下良平 <sup>1</sup> 、松下悟 <sup>1</sup> 、湯川雅枝 <sup>1</sup> 、外山渉 <sup>1</sup> 、小枝伸悟 <sup>1</sup> 、上野渉 <sup>1</sup> 、前田武 <sup>1</sup> 、田代克人 <sup>2</sup> 、菅原幸喜 <sup>1</sup> 、石澤義久 <sup>1</sup> 、西村義一 <sup>3</sup> 1: 基セ 運営企画室、2: 基セ 研究基盤技術部、3: 基セ
PP-25	多核種対応型多目的装置用新合成ユニットの開発	鈴木寿 <sup>1</sup> 、向井健作 <sup>2</sup> 、福村利光 <sup>1</sup> 、鈴木和年 <sup>1</sup> 1: 分セ 分子認識研究G、2: 機日本製鋼所
PP-26	放医研ICP-MSによるヒト中皮腫細胞内マンガン、銅、亜鉛含量の測定	越川道子 <sup>1</sup> 、長谷川純崇 <sup>1</sup> 、高橋功 <sup>2</sup> 、古川高子 <sup>1</sup> 、吉田聡 <sup>3</sup> 、佐賀恒夫 <sup>1</sup> 1: 分セ 分子病態イメージング研究G、2: 防セ 防護技術部、3: 防セ 環境放射線影響研究G
PP-27	共同実験施設の管理2007	高野裕之 <sup>1</sup> 、潮見聡 <sup>1</sup> 、大内良夫 <sup>1</sup> 、前田武 <sup>2</sup> 1: 東京ニュークリア・サービス(株)、2: 基セ 研究基盤技術部
PP-28	PETプローブの臨床製造と品質管理	中尾 隆士 分セ 分子認識研究G
PP-29	標識薬剤の製造と利用状況について	根本和義、鈴木和年 分セ 運営企画ユニット画像技術室

第3回技術と安全の報告会(平成19年度)受賞者

賞名	表題	受賞者
口頭発表優秀賞	小型ECRイオン源のガスバルスによるビームテストについて	北條悟(重粒子医科学センター物理工学部)、本間壽廣、村松正幸、坂本幸雄、杉浦彰則
口頭発表奨励賞(1)	下限数量以下の非密封放射性同位元素の管理区域外使用に向けて	石井一宏(基盤技術センター安全・施設部)
口頭発表奨励賞(2)	マウスにおける黄色ブドウ球菌 Staphylococcus aureus の症状と同定検査法の改良	石田有香(基盤技術センター研究基盤技術部)、小久保年章、入谷理一郎、館野香里、早尾辰雄、新妻大介、伊藤正人、伊田大貴、藤井功輔、大久保喬司、宮沢正光、川原隼、西川哲
ポスター発表優秀賞	放医研ICP-MSによるヒト中皮腫細胞内マンガン、銅、亜鉛含量の測定	越川道子(分子イメージング研究センター分子病態イメージング研究グループ)、長谷川純崇、高橋功、古川高子、吉田聡、佐賀恒夫
ポスター発表奨励賞(1)	静電加速器棟(PASTA&SPICE)における利用状況2007	磯浩之(基盤技術センター研究基盤技術部)、石川剛弘、小西輝昭、酢屋徳啓、濱野毅、今関等
ポスター発表奨励賞(2)	放医研における実験に関する申請手続きガイドについて	松下良平(基盤技術センター運営企画室)、松下悟、湯川雅枝、外山渉、小枝伸悟、上野渉、前田武、田代克人、菅原幸喜、石澤義久、西村義一
実行委員長特別賞	実験動物研究棟の施設管理の活動状況及び稼働状況、他1題	館野真太郎(基盤技術センター研究基盤技術部)、飯名瑞希、大久保喬司、上野渉、西川哲

基盤技術センター 研究基盤技術部  
放射線計測技術開発室 主任研究員  
高田 真志  
放射線発生装置利用技術開発課 研究員 名誉研究員  
平岡 武

中性子源 (neutron source) は、中性子を発生する物質または装置である。中性子が電荷を持たない粒子であることを利用して、中性子線源は、非破壊検査、品質管理、爆発物検知、中性子捕捉療法、中性子の生物影響研究、中性子検出器や被ばく線量計の開発、さらに大強度中性子源は、半導体素子の中性子損傷 (ソフトウェアなど) の評価、たんぱく質などの構造解析、植物中の水溶液の挙動解析などに利用されている。利用可能な中性子源は大きく3つに分類できる。数 MeV 以上の高速中性子源としては、光核反応、陽子、重陽子、アルファ粒子による比較的軽い原子核との間の核反応や核分裂反応などが利用される。また、 $^{226}\text{Ra}$  のような天然のアルファ放出体とベリリウムを適当に混ぜたラジウム-ベリリウム中性子源などがある。もちろん原子炉は強力な中性子源である。以下、それぞれの中性子源について説明するが、生物影響研究には、組織への高い透過力と吸収線量率の観点から、1-1. 自発核分裂を用いた  $^{252}\text{Cf}$  中性子源と、2-1. (h) 荷電粒子反応を用いた p-Be, d-Be 反応による中性子源が良く利用されている。

## 1. 放射性同位元素を用いた中性子源

### 1-1. 自発核分裂

超ウランの重い原子核の多くはある程度の確率で自発核分裂を起こし、数個の高速中性子が放出される。自発核分裂とは、外部からエネルギーを加えなくても起こる反応である。これを利用した中性子線源として、

$^{252}\text{Cf}$  がある。 $^{252}\text{Cf}$  は原子番号 98 のアクチノイド元素であり、比重は 15.1、半減期は 2.65 年でアルファ崩壊もしくは自発核分裂を起こす。自発核分裂に伴い、平均 3.8 個の中性子を放出する。中性子の収率は 1 Bq 当たり 0.116 (n/s) であり、 $1\mu\text{g}$  の試料から  $2.30 \times 10^6$  (n/s) の中性子が発生する。 $^{252}\text{Cf}$  から放出される中性子のエネルギースペクトルは図1に示すように、10 MeV 弱まで中性子収率が伸びているが、そのピークは 0.5 ~ 1 MeV である。この核分裂中性子スペクトルは次式 (中村尚司, 2001: 文献 [2] より引用) で与えられる。

$$\Phi(E) = 0.640 \exp(-E/1.175) \sinh(\sqrt{1.04E})$$

$^{252}\text{Cf}$  は、高い中性子束の原子炉で、 $^{239}\text{Pu}$  から出発して 13 回の中性子捕獲と数回のベータ壊変を経て、製造される。

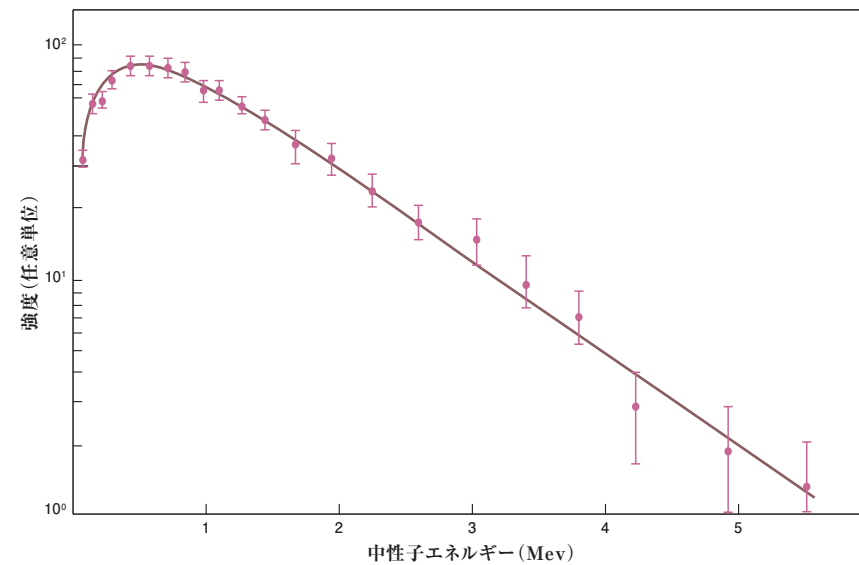


図1: 自発核分裂  $^{252}\text{Cf}$  中性子線源より放出される中性子エネルギースペクトル  
[放射線計測ハンドブック、木村逸郎/阪井英次訳、日刊工業新聞社、2001]の23頁-図1.10より引用<sup>1)</sup>

$^{252}\text{Cf}$  は後述する AmBe 中性子線源と比較し、2000 倍もの中性子を放出する中性子線源であるため、生物影響研究にも利用される。

### 1-2. ( $\alpha, n$ ) 線源

アルファ放出体とベリリウムなどのターゲット物質と混合させた小型の中性子線源がある。放射性同位元素から放出されたアルファ粒子とターゲット物質との核反応 ( $\alpha, n$ ) により中性子が放出される。ベリリウムがターゲット物質として、よく使われ、この反応の Q 値は +5.71 MeV である。反応式で書くと、



である。良く用いられる中性子源の一例を表1に示した。アルファ粒子放出放射性物質として、 $^{218}\text{Po}$ ,  $^{241}\text{Am}$  など

がある。AmBe, RaBe 中性子線源から放出される中性子エネルギースペクトルを図2に示した。アルファ線のエネルギーが単一でないために、いくつかのピークを持った連続分布となっており、中性子ともに多量のガンマ線も発生する。AmBe より発生するガンマ線の組織への吸収線量率は、21% を占める。ちなみに  $^{252}\text{Cf}$  の場合には 58% である。

表1: 中性子源の例

種類	半減期	発生機構	平均エネルギー	中性子発生個数 n/s/Ci
$^{218}\text{Po}-{}^9\text{Be}$	138日	( $\alpha, n$ )	4.5MeV	$2.5 \times 10^8$
$^{226}\text{Ra}-{}^9\text{Be}$	1602年	( $\alpha, n$ )	3.9MeV	$1.5 \times 10^7$
$^{241}\text{Am}-{}^9\text{Be}$	458年	( $\alpha, n$ )	4.4MeV	$2.2 \times 10^6$
$^{239}\text{Pu}-{}^9\text{Be}$	24000年	( $\alpha, n$ )	4.5MeV	$1.5 \times 10^6$
$^{252}\text{Cf}$	2.65年	fission	0.5~1MeV	$4.3 \times 10^9$

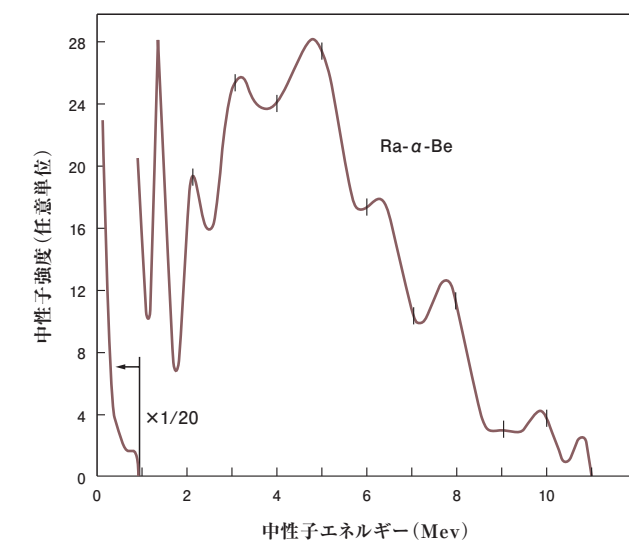
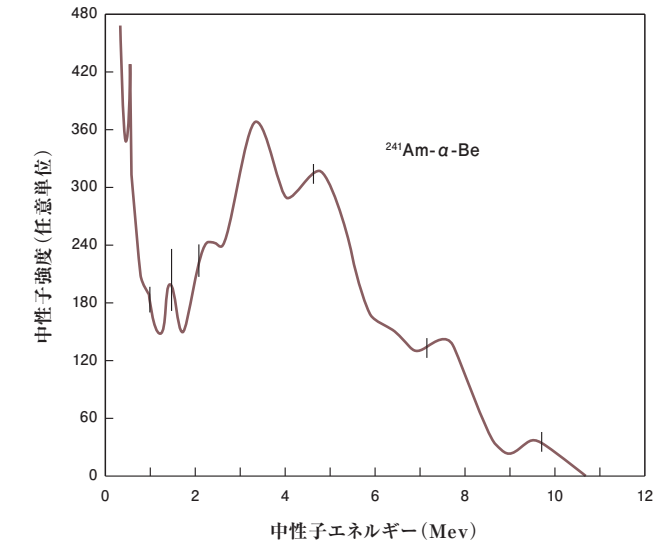


図2: AmBe, RaBe から放出される中性子エネルギースペクトル  
[放射線物理と加速器安全の工学、中村尚司著、知人書館、2001]の20頁-図1.9より引用<sup>2)</sup>



## 2. 加速器を用いた中性子源

加速器を用いて中性子を発生するには、以下に示すさまざまな核反応を用いる。加速器を用いた中性子源は、中性子エネルギーが可変、数 MeV 以上の高い中性子エネルギーが可能という利点があり、用途に応じて使い分けることができる。中性子発生量は利用する中性子放出核反応断面積に大きく依存し、入射粒子と核反応によって中性子発生量は変化し、入射粒子のエネルギーを上げることで、中性子発生量は増加する。

### 2-1. 荷電粒子反応を利用したもの

核反応 (a) - (c) を利用すると、単色性が良い中性子を得ることができる。最近では、ドイツの PTB で細胞を用いて中性子の RBE の導出実験をこの単色中性子源を用いて行っている<sup>4)</sup>。

#### a) $T(p,n)^3\text{He}$ 反応

この反応のしきい値は 1.019 MeV と比較的低く、小型の加速器でも利用でき、1.15 ~ 8.35 MeV で単色でバックグラウンドの低い中性子を得ることができる。ターゲットは、トリチウムガスを封入したもの、チタンなどの金属に吸着させたものが利用されるが、放射性であるトリチウムの取扱には格別な注意が必要である。

#### b) $D(d,n)^3\text{He}$ 反応

この反応の Q 値は 3.269 MeV と正で

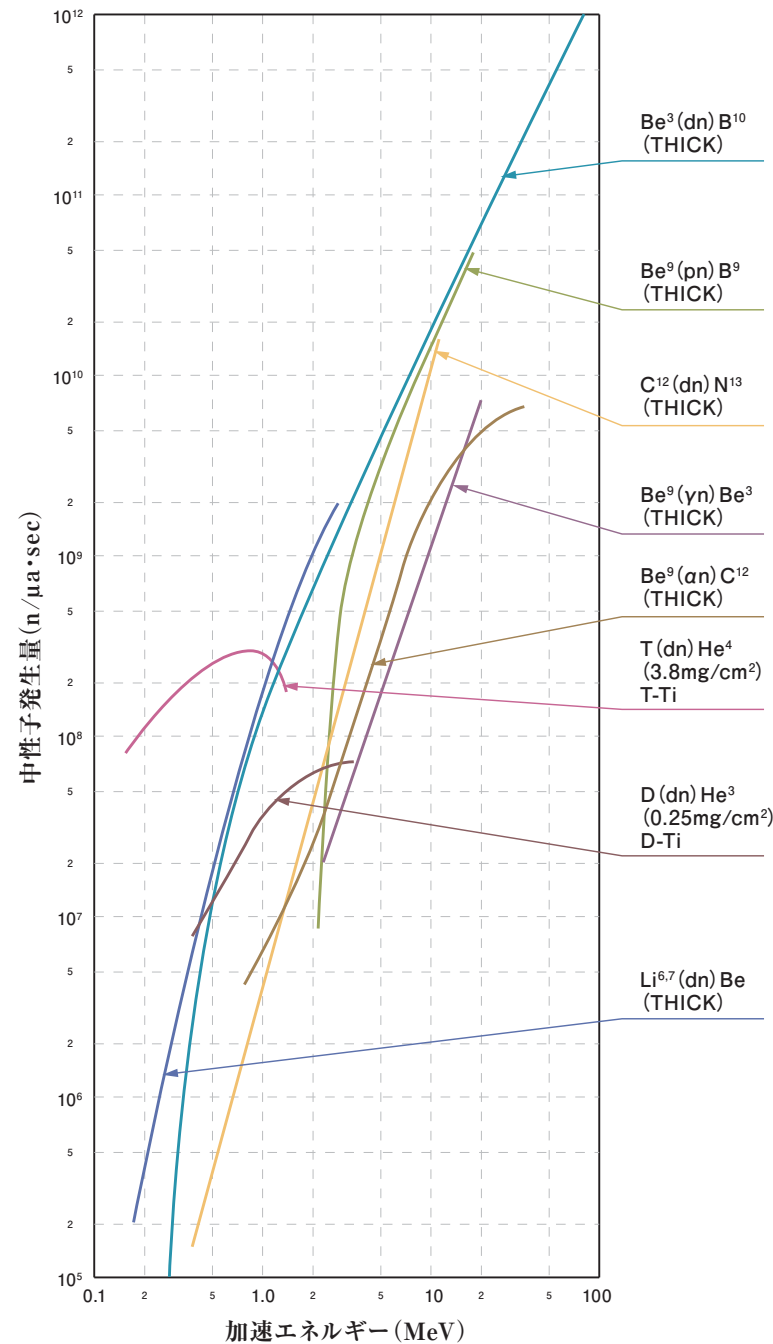


図3: 荷電粒子反応を用いたさまざまな反応から放出される中性子フルエンス  
[加速器工学ハンドブック、平尾泰男、小寺正俊、上坪宏道、更田豊治郎 編  
日本原子力産業会議、2000] の270頁-図5-4より引用<sup>3)</sup>

あるため、比較的小規模の加速器で、数 MeV 領域の中性子を発生させるのに適している。ターゲットが重水素であるため、トリチウムよりも取扱が容易である。ターゲットにはガスセルが用いられる。

#### c) $T(d,n)^4\text{He}$ 反応

この反応は大きな正の Q 値 (17.59 MeV) を持ち、14 MeV 中性子が放出される。この反応は d-t 中性子源と呼ばれ、核融合の基本的な反応である。中性子取量も非常に大きいため、過去に生物影響研究にも利用された。反応の Q 値が正であるために、加速にほとんどエネルギーを必要としない。加速器を用いない、卓上サイズの小型の Neutron Generator も市販され、利用されている。この反応により単色性が良い中性子が得られるが、随伴してターゲット中にドーブされた重水素との反応 D(d,n) 反応による中性子も発生する。

以上の反応のうち、(a) と (c) は、トリチウムを中性子生成ターゲットとして利用するため、取扱許可された施設のみで利用が可能である。

#### d) $\text{Sc}(p,n)$ 反応

この反応はしきい値が -2.808 MeV と負であるため、2.9

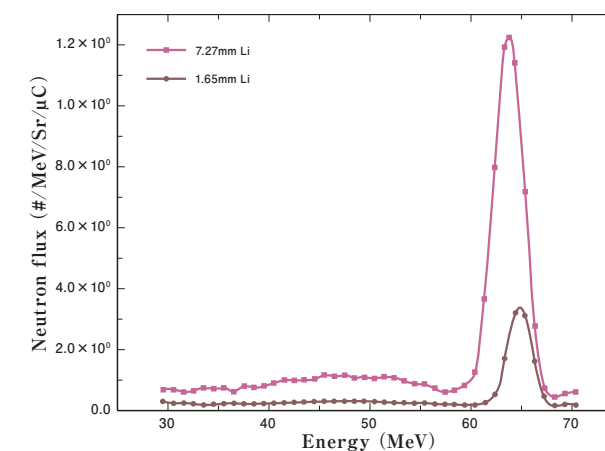


図4: 東北大CYRICに整備された準単色中性子場の中性子エネルギースペクトル  
[Installation and application of an intense  $^7\text{Li}(p,n)$  neutron source for 20~90 MeV region, M.Baba, H.Okamura, M.Hagiwara, T.Itoga, S.Kamada, Y.Yahagi, E.Ibe, Radiation Protection Dosimetry, (2007)] のFigure 4より引用<sup>5)</sup>

MeV 以上の陽子ビームが必要であるが、8,16,27 keV の中速エネルギー領域の単色中性子を得ることができる。

#### e) $^7\text{Li}(p,n)^7\text{Be}$ 反応

この反応の Q 値は -1.64 MeV と負であるために、1.9 MeV 以上の陽子ビームを加速する必要がある。中性子生成ターゲットが先の3つと異なり金属であるために、厚さの制御、取扱が容易である。単色中性子源として、0.1 ~ 0.6 MeV の狭い範囲に限られる。それ以上のエネルギーでは、単色成分以外の残留核  $^7\text{Be}$  励起状態の 0.479 MeV 準位へ中性子放出する反応、3体ブレイクアップ反応が混在するため、単一のピークでなく、低いエネルギー成分が混在する準単色中性子源となる。図4は、 $^7\text{Li}(p,n)$  反応を利用して生成された中性子スペクトルの一例である。ピーク以外に低い中性子エネルギー成分を含むために、単色エネルギーではないが、20~100 MeV、さらにそれ以上の中性子源をサイクロトロンで加速された陽子を用いることで選択的に得ることができる。もちろん生物影響研究にも利用できる。

#### f) $(\text{HI},n)$ 反応

重イオン (HI, Heavy Ion) を水素などの軽いターゲットに照射し、荷電反応の逆過程を利用した単色中性子源がある。これは、重イオンが原子核に持ち込む運動量が大きいため、その運動量を保持するために中性子は重イオンの入射方向と同じ前方に集中的に発生する。利用される反応として、 $\text{H}(^{14}\text{C},n)^{14}\text{N}$ ,  $\text{H}(^{15}\text{N},n)^{15}\text{O}$ ,  $\text{H}(^{18}\text{O},n)^{18}\text{F}$ ,  $\text{H}(^{19}\text{F},n)^{19}\text{Ne}$  などがある。

#### g) ストリッピング反応

重陽子は緩やかに結びついた陽子と中性子から構成されているため、高エネルギー重陽子が Li や Be などの原子核に衝突した場合には、陽子と中性子の結合が切れて、入射粒子のおよそ半分のエネルギーを持った中性子が前

方向に放出される。この反応を利用したのが、 ${}^7\text{Li}(\text{d}, \text{n})$ 、 ${}^8\text{Be}$ 、 ${}^9\text{Be}(\text{d}, \text{n})$ 、 ${}^{10}\text{B}$  などの中性子源である。この中性子源は基本的に単色でなく、連続分布を有するが、中性子放出角度の前方性が強く、放出量が多い。

#### h) 放射線生物学、中性子治療に用いられる p-Be, d-Be 中性子源

p-Be, d-Be 中性子反応を用いた中性子源は他の反応と比較して高い中性子発生量があり、放出された中性子は高い透過性があるために、中性子治療などに利用されていた。数 10 MeV 陽子が重陽子を、入射粒子が止まる厚さのベリリウムに照射して中性子を発生させる。ちなみに、p-Li, d-Li 反応の方が中性子発生量は多いが、ターゲットであるリチウムの低い溶融温度 (180 度)、冷却の必要性、困難な工作性から、実用には適さない。

${}^9\text{Be}(\text{p}, \text{n})$   ${}^9\text{B}$  と  ${}^9\text{Be}(\text{d}, \text{n})$   ${}^{10}\text{B}$  反応による放出される中性子の角度分布は前方性が強く、入射エネルギーの増加に従い、中性子発生量も増加する。中性子の吸収線量は、入射陽子のビーム量に対して、 $D_t(\text{Gy})/Q_t(\text{C}) = 2.44$

$\times 10^{-2} \times E^{2.49}$ 、重陽子に対して  $D_t(\text{Gy})/Q_t(\text{C}) = 2.49 \times 10^{-2} \times E^{2.95}$  で与えられる<sup>7)</sup>。Be(p,n) 反応は陽子の非弾性散乱、Be(d,n) 反応は、ストリッピング反応により、図 5 に示すそれぞれの中性子エネルギースペクトルが得られる。Be(d,n) 反応による中性子エネルギースペクトルは、入射重陽子のエネルギーの約 40% 付近にピークを持つ。Be(p,n) 反応の場合には、ピークは形成されず、最大エネルギーから連続分布をしており、相対的に低い中性子エネルギー成分が大きくなっている。

これらの反応からは、中性子に付随してガンマ線も発生する。このガンマ線は、入射粒子エネルギー、照射室構造に大きく依存するが、組織への吸収線量で 10% 前後である。ちなみに 25MeV 重陽子をベリリウムに照射した中性子場には、2% のガンマ線の組織吸収線量があった<sup>8)</sup>。ガンマ線の線量率は、RI 中性子源である  ${}^{252}\text{Cf}$  (58%)、AmBe (21%) と比較し、1 桁以上小さいものである。

図 6 に、25 MeV 重陽子をベリリウムに照射して発生した中性子とガンマ線の深部線量を示す。これはアクリ

ルファントム内の吸収線量の割合の変化を示しており、表面付近が高く、深部に行くに従い、減少していく。しかし、ガンマ線には大きな変化は見られない。深部線量の深さ方向の傾きは、高いエネルギーの中性子成分に依存する。

放医研サイクロトロンでは、25 MeV 重陽子を入射粒子がフルストップする厚さのベリリウムターゲットに照射して発生した 10 MeV 付近にピークを有する連続分布の中性子をマウスなどの生物に照射し、生物の中性子に対する影響を調べる研究が行われた。現在は、同様の反応を用いて、入射重陽子のエネルギーを 4 MeV に下げて発生させた中性子を用いた生物影響研究が行われている。

#### 2-2. 核破砕反応による中性子源

この反応では数 100 MeV 以上の高エネルギー粒子(主に陽子)を鉛などの重い核に衝突させ、原子核を激しく励起することによって核破砕反応を起こさせる。核破

砕反応では 1 GeV 陽子 1 個に対して 20 個近くの中性子が発生させ、たんぱく質などの構造解明するために利用する。

#### 2-3. 光核反応による中性子源

光核反応を用いた中性子源として、電子線形加速器を用いた強力な連続中性子源がある。中性子の発生は、まず高エネルギー加速された電子を鉛やタングステン、タンタルなどの重い原子核に衝突させる。その結果、制動放射線が発生し、その制動放射線によって同じターゲット内での光核反応 ( $\gamma, \text{n}$ ) により、中性子が放出される。中性子スペクトルはほぼマックスウェル分布に近い形をしている。実際には、パラフィンや水などのモデレーターを組み合わせて、光反応により発生する中性子を実際に必要な中性子エネルギースペクトルにする。

加速器を用いなくても、強力なガンマ線源  ${}^{226}\text{Ra}$ 、 ${}^{124}\text{Sb}$ 、 ${}^{24}\text{Na}$  などを用いる方法もある。放射性同位元素から放出されたガンマ線を  ${}^9\text{Be}$  や重水素に照射するこ

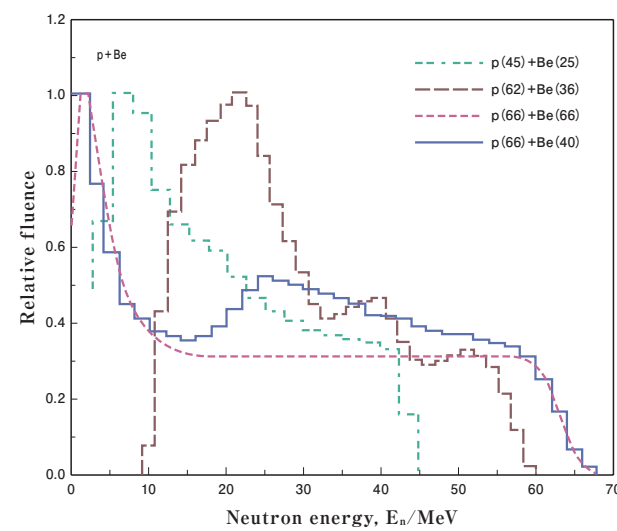


図5-a: p-Be 反応により放出される中性子エネルギースペクトル。異なる入射エネルギーによる比較 ([Nuclear Data for Neutron and Proton Radiotherapy and for Radiation Protection, ICRU Report 63, International Commission on Radiation Units and Measurements, (2000)] の page.13, Fig.3.1より引用)<sup>7)</sup>

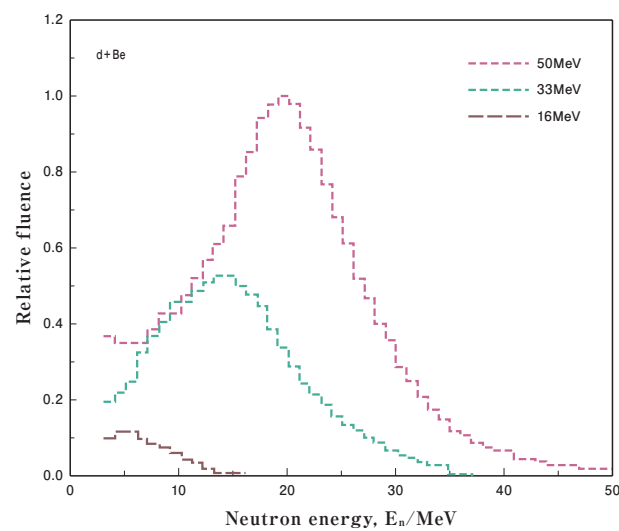


図5-b: d-Be 反応により放出される中性子エネルギースペクトル。異なる入射エネルギーによる比較 [Nuclear Data for Neutron and Proton Radiotherapy and for Radiation Protection, ICRU Report 63, International Commission on Radiation Units and Measurements, (2000)] の page16, Fig.3.5より引用)<sup>7)</sup>

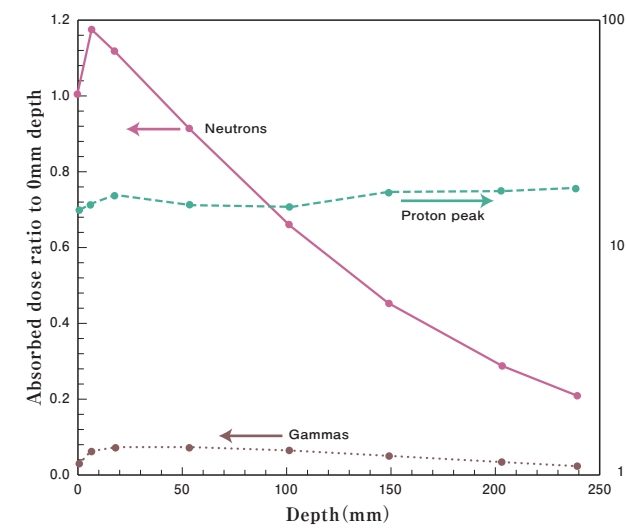


図6: d(25 MeV)-Be 反応により発生した中性子の深部線量分布。入り口の中性子線量を1に規格化 ([Neutron irradiation field produced by 25MeV deuterons bombarding on thick beryllium target for radiobiological study, M.Takada, E.Mihara, T.Nakamura, T.Honma, K.Kono, K.Fujitaka, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A545 (3), (2005)] の Fig.12 (A)より引用)<sup>8)</sup>

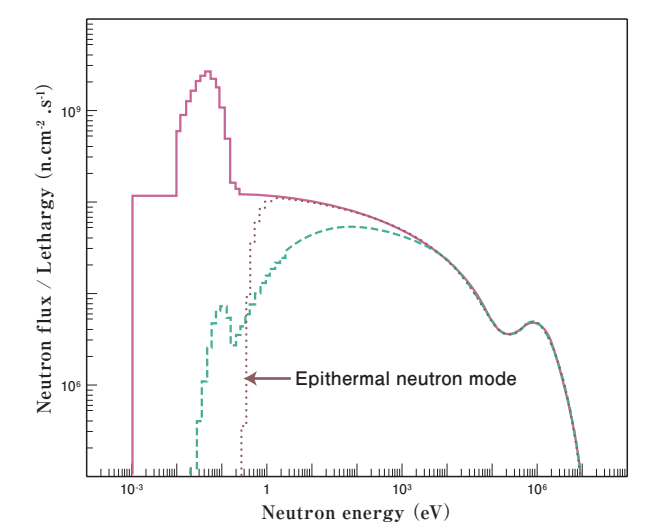


図7: 原子炉からの中性子を重水素タンクなどで熱中子化した中性子エネルギースペクトル [Microdosimetry of epithermal neutron field at the Kyoto university reactor, Y.Onizuka, S.Endo, M.Ishikawa, M.Hoshi, M.Takada, T.Kobayashi, Y.Sakurai, H.Utsumi, S.Uehara, N.Hayabuchi, N.Maeda, T.Takatsuji, K.Fuikawa, Radiation Protection Dosimetry, Vol.99 (1/4), (2002)] の Figure 1より引用<sup>9)</sup>

とで、光核反応により中性子が放出される。しかし、この中性子源は非常に強いガンマ線バックグラウンドを伴う。

### 3.原子炉を用いた中性子源

大きな中性子フラックスによる照射には、原子炉が用いられる。原子炉は制御した状態で核分裂連鎖反応を起こさせる装置であり、熱中性子から高速中性子に至る中性子源として、広く利用されている。国内には、京都大学原子炉実験所、日本原子力機構 JRR-4 の研究炉がある。原子炉内から取り出された中性子は、強い透過力を利用して、中性子ラジオグラフィーに用いられている。また各種金属フィルターの組み合わせを用いて、準単色中速中性子の照射も行われている。原子炉からの中性子を重水素シャッター、カドミニウムフィルターを用いて図7に示した熱外中性子を作り、中性子捕捉療法 (BNCT) が行われている。

本稿で紹介した図1~7のデータのすべては、以下の文献より引用しており、各項目に関する詳しい内容は、以下の引用文献を参考に。

次号では、「(3) 組織等価物質と組織へのエネルギー付与」を解説します。

### 引用文献

- 1) 「放射線計測ハンドブック 第3版」 木村逸郎/阪井英次訳  
「Radiation Detection and Measurement」 G.F.Knoll, 2001, 日刊工業新聞社
- 2) 「放射線物理と加速器安全の工学」 中村尚司著, 2001, 知人書館
- 3) 「加速器工学ハンドブック」 平尾泰男、小寺正俊、上坪宏道、更田豊治郎 編, 2000, 日本原子力産業

会議

- 4) RBE of Neutrons at Energies of 36 keV-15 MeV and Photons at Energies of 1.8 keV ~ 40 keV for Induction of Dicentric in Human Lymphocytes, E.Schmid, D.Schlegel, M.Krumrey, G. Stephan, in Proceeding of 11th International Radiation Protection Association, (2004)
- 5) Installation and application of an intense  $^7\text{Li}$  (p,n) neutron source for 20 ~ 90 MeV region, M.Baba, H.Okamura, M.Hagiwara, T.Itoga, S.Kamada, Y.Yahagi, E.Ibe, Radiation Protection Dosimetry, 1-5, (2007)
- 6) Microdosimetry of epithermal neutron field at the Kyoto university reactor, Y.Onizuka, S.Endo, M.Ishikawa, M.Hoshi, M.Takada, T.Kobayashi, Y.Sakurai, H.Utsumi, S.Uehara, N.Hayabuchi, N.Maeda, T.Takatsuji, K.Fuikawa, Radiation Protection Dosimetry, Vol.99 (1/4), 383-385, (2002)
- 7) Nuclear Data for Neutron and Proton Radiotherapy and for Radiation Protection, ICRU Report 63, International Commission on Radiation Units and Measurements, (2000)
- 8) Neutron irradiation field produced by 25MeV deuterons bombarding on thick beryllium target for radiobiological study, M.Takada, E.Mihara, T.Nakamura, T.Honma, K.Kono, K.Fujitaka, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A545 (3), 765-775, (2005)

## SR Salon Photograph

### “はやて”号 + “こまち”号



E2系 + E3系 東北新幹線 大宮駅にて

東北新幹線は、1982年6月27日に開業した、全国で3番目の新幹線である。当時は利用客が少なかったが、民営化してから急成長し、現在では東海道新幹線に次いで、2番目に利用客が多い新幹線路線となった。この東北新幹線を走る“はやて”号と“こまち”号は、同路線の優等列車である。“はやて”号はE2系、“こまち”号は、E3系と呼ばれる車両が使われている。停車駅は、一部を除き、上野、大宮、仙台、盛岡といった主要都市しか停まらず、しかも全車指定席なので、キャビン内に立っている人はいない。速度も山陽新幹線“のぞみ”号に次ぐ275km/hで走行し、八戸まで約3時間、秋田までは約4時間で行くことができる。この列車、東京から八戸まで、併結して走っており、盛岡駅で、下りの“はやて”号と“こまち”号を切り離して、八戸、秋田へ向かう。上り列車における盛岡駅での2つの列車の連結シーンは、いつも注目の的である。但し、連結器は自動連結器であるため、連結作業はあっという間に終わってしまう。

なぜこの列車が連結して走る理由は、東京~大宮間は、上越新幹線、長野新幹線と線路を共有しているため、非常に過密路線となっていて、2本の列車を個別に走らせる余裕が無い。その為、2本の列車を連結し、1本の列車として走らせているのである。しかし、どちらも人気が高く、きっぷが取りにくい列車である。ちなみに、“こまち”号で使用されるE3系と呼ばれる車両は、盛岡で“はやて”号と分かれた後、在来線を新幹線の線路の幅と同じ幅に変え、ほんの少し、施設の改良をただけの線路を走るため、車体が“はやて”号より一回り小さいのが特徴である。新幹線内では、停車時に列車とホームの間が広く開くため、ステップが出てくるユニークな車両である。

この2本の列車を連結して運転するのは、“はやて”号と“こまち”号を連結している列車はもちろんであるが、“やまびこ”号や“なすの”号でも頻繁に運用されているので、良く目にするのが特徴である。なお、写真は上り列車を撮影したものであるが、E2系とE3系が連結して運転する場合は、自動連結装置がE2系は八戸側、E3系は東京側にしか装備されていないので、必ず写真のようにE2系が東京側に連結されている。また、E2系のみ編成で走る場合は多々あるが、E3系のみで走ることは基本的には無い。

企画部企画課 三井正紀

標題は短くしてあるので、説明を加えると、実際にはビキニ島民の依頼を受けて、Jonathan M. Weisgall というワシントン DC にオフィスを持つ弁護士から、当時原子力安全委員をしておられた田島英三先生宛に送られてきた手紙である。1987年7月の日付のものだからかなり以前の話である。

田島先生から見せられたその手紙によると、Weisgall 弁護士は田島先生を直接知っていたわけではなく、その頃 IAEA の放射線防護課の主任をしていた Annali Solo さんから田島先生の名前を示唆されてこの手紙を書いたと述べられていた。Solo さんはフィンランドのヘルシンキにある放射線防護研究所にいた環境放射能の女性研究者で、ほくも国際会議で何度か会ったことがあり、東京で海洋放射生態学セミナー (OECD 原子力機関主催) を行ったとき来日したこともあった。昼食時、食堂へ行った彼女は“そば”を出され、どうやって食べてよいか困っていたとき、ほくがたまたま近くのテーブルにやって来たので彼女に助け舟を出したことがあった。

Weisgall 弁護士は 12 年もビキニ島民に依頼されて米国政府にいろいろ交渉をしている人であり、島民が米国政府に望んでいるビキニ島の放射能除染に関して、米国人以外の第三者的立場の専門家の意見と協力を要請したいという内容の手紙であった。依頼したい具体的な内容は、米国議会が作成した BARC すなわち Bikini atoll rehabilitation committee (ビキニ環礁修復委員会) の報告書に述べられている三通りの放射能除染方法について詳細を検討して貰いたいということであり、それらの除染法のうちどの方法が良いかについて指導して欲しいというものであった。さらに、これに関連して質問など多くあるであろうから、BARC の委員長や各委員にも会い、また、ビキニ島民のために素人向きの易しい文章による説明書を書くこと、そしてビキニ島民にも 1~2 回くらい会って対談して欲しいこと、その場合の場所としてマーシャル群島かホノルルか米本土か或いは日本でも良いという。条件としては、日本政府とは独立に (つまり影響を受けないで個人的立場の専門家として) 動い

てくれることを挙げていた。

BARC レポートに示されているビキニ島除染法は、

- ①表層 1 フィートの土壌を取り除くという方法で、これにより 137Cs が除かれるという。
- ②カリウムを多く含土肥料を加えるという方法で、これにより土壌から植物への 137Cs の吸収を抑制するという方法である。
- ③多量の海水を土壌に流して洗うという方法で除染するというものである。

これらの三方法についての弱点にもふれており、①の方法は、土壌から栄養分を取ってしまう心配が考えられるし、②と③については、この方法の効果を確保するにはかなりの長期間を要するので、島民を実験対象にするかのような印象を持たれる心配があると述べている。

また、文面によると、島民は表土除去方式に最も関心を持っているようだと言っている。

田島先生はこの手紙をほくに見せて、自分は原子力安全委員という政府の公式立場にある身なので、政府から独立した人という向うの条件に合わないから無理だが、貴方がやる気はないだろうかと言われた。そういわれると、ほくも放医研という政府の機関の職員だから条件に合わないで無理でしょうと答えた。結局のところは、ほくにこの手紙への返事を書いてくれと頼まれてしまった。そして田島先生の名前でご期待にそえない旨の理由を述べた返事の手紙を代作した。代筆ではなく、代作である。

長い年月を経て、今振り返ってみると、政府から独立した立場だの何だのと杓子定規なことを言っていないで、引き受けてみてもよかったと思うようになった。

今はそんな体力はないが、その頃なら、厚い BARC レポートをどんどん読み飛ばす体力を持っていたからである。

ICHIKAWA RYUSHI (元放医研科学研究官)

## 編集後記

本号では、平成 20 年 3 月に行われた、「第 3 回技術と安全の報告会」および「第 1 回共用施設 (PASTA & SPICE) 共同研究成果報告会」(第 2 回静電加速器利用ワークショップ) について特集 (特集記事及び印象記) しました。

前者の報告会では、基盤技術センターをはじめ各研究センターからも、若手の技術者、研究者らを中心に御自身やグループの技術・研究開発の成果を報告していただきました。放医研の研究を支える基盤的な技術・研究から先進的な研究開発まで多岐に渡り、質疑応答あるいはポスター発表を通して活発に議論が行われました。このような機会により研究を支える技術・安全についての知識が深まるだけでなく、他分野の技術者・研究者との交流・相互作用が進み、放医研の研究開発が一層進展することを期待します。

また、後者においては、所内外の研究者から、放医研の共用施設を利用した共同研究の成果報告が行われました。PASTA や SPICE の特色を生かした研究によって、様々な分野において成果が上がっており、活発に共同研究が推進されていることが示されました。また、本年 11 月には、放医研においてマイクロビームについての国際ワークショップが放医研で開催されます。(8th International Workshop on Microbeam Probes of Cellular Radiation Response) この分野の放医研のプレゼンスを示す絶好の機会と考えています。

## 次号予告

特集 「放医研那珂湊支所の研究成果」  
(放医研那珂湊支所・研究成果報告会)



### 〈編集委員会〉

委員長	酒井 一夫		
委員	内堀 幸夫	金澤 光隆	石井 伸昌
	白川 芳幸	小橋 元	立崎 英夫
	高田 真志	菊池 達矢	鈴木 敏和
	玉手 和彦	長谷川純崇	杉森 裕樹
	加藤 博敏	神田 玲子	
事務局	岡本 正則		

## 放射線科学

第 51 巻 第 5 号

2008 年 5 月 15 日発行

### 〈編集・発行〉

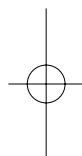
独立行政法人 放射線医学総合研究所  
〒263-8555 千葉県稲毛区穴川 4-9-1  
電話 043(206) 3026 Fax.043(206) 4062 Eメール info@nirs.go.jp

(禁無断転載)

放射線科学  
Radiological Sciences

第51巻 第5号

2008年5月15日発行 (編集・発行) 独立行政法人 放射線医学総合研究所  
〒263-8555 千葉県稲毛区次川4-9-1  
電話 043(206)3026 Fax 043(206)4062



<http://www.nirs.go.jp>

