

Radiological Sciences

放射線科学

2009.05

Vol.52

第52巻 第5号



Radiological
Sciences

最近の成果

「第五福竜丸事件」と
放射線教育への取り組み

ISSN 0441-2540

Contents

最近の成果

04 「第五福竜丸事件」と放射線教育への取り組み

静岡大学理学部附属放射科学研究施設
宮澤 俊義 奥野 健二

最近の動向

10 X線の線量供給と線量計測プロトコール

基盤技術センター 研究基盤技術部
平岡 武

最近の成果

17 天然抗酸化物質の化学修飾による 新規活性酸素種・フリーラジカル消去物質の開発

重粒子医科学センター 粒子線生物研究グループ
放射線効果修飾研究チーム
中西 郁夫

印象記/第3回静電加速器利用ワークショップ

20 第2回共用施設(PASTA&SPICE) 共同研究成果報告会

基盤技術センター 研究基盤技術部
放射線発生装置利用技術開発課
及川 将一

印象記

26 オーストリア・ドイツ出張随行記

企画部 人材育成・交流課 国際係
安東 裕世

29 SR Salon Photograph

三井 正紀

30 随想

市川 龍資

31 編集後記



▲第五福竜丸は総トン数140トン、全長約30メートル、高さ15メートル、幅6メートル。現存する木造漁船としても貴重な一隻となっています。



◀ 東京都立第五福竜丸展示館所蔵の第五福竜丸の船首部。

▶ 1954年の水爆実験で、放射能マグロ騒ぎが起こり、457トンものマグロが地中や海に捨てられた供養と感謝の思いから全国各地の多くの賛同する人たちの募金によってできた「マグロ塚」。本来ならば築地に置くべき「塚」は暫定的ながら第五福竜丸展示館前に設置されています。



正面玄関(花壇)に咲くシバザクラ

「第五福竜丸事件」と放射線教育への取り組み

静岡大学理学部附属放射科学研究施設
技術専門職員 宮澤 俊義 施設長 奥野 健二



宮澤 俊義 (Toshiyoshi Miyazawa)

はじめに

1954年3月1日アメリカ合衆国が、太平洋マーシャル諸島ビキニ環礁で行った水爆実験で、焼津の漁船「第五福竜丸」は「死の灰」を浴びて被ばくしました。この「第五福竜丸事件」は全世界に大きな衝撃を与えました。被ばくして焼津に帰港した「第五福竜丸」に研究者として

最初に乗り込んで船員や漁獲物などの汚染検査を行ったのは静岡大学の塩川教授のグループでした。数々の彼らの調査の中でも、とりわけ「死の灰」の分析は国内外の高い評価を受けました。これを契機に静岡大学理学部附属放射科学研究施設（以下放射研）の前身が設立されました。



図1: 第五福竜丸 東京都立第五福竜丸展示館所蔵(筆者撮影)

この「第五福竜丸事件」について、筆者は今までに様々な事柄を調査して来ました。この事件のあらまし、事件で被ばくした残存物、Ge 半導体検出器を用いた「死の灰」の分析、若い世代へのこの事件等のアンケート調査、などを行いました。それに基づき「第五福竜丸事件」と静岡大学の放射研との関係を通じてこの事件をまとめ、そしてこの事件の風化防止に役立てる事と、放射線について再考し、「放射線教育への教材」としての利用に向けての取り組みを報告致します。

「第五福竜丸事件」とは

「第五福竜丸」は1947年3月に和歌山県古座造船所でカツオ漁船「第七事代丸」として製造されました。その後所有者が変り、1953年5月に当時花形だったマグロ漁船として改造されて「第五福竜丸」が誕生しました(図1)。総トン数140トン、全長28.5m、幅5.9mの木造の船で乗組員23名を乗せて1954年1月22日に静岡県焼津を出港しました。漁を続けながら南下して太平洋マーシャル諸島ビキニ環礁で操業中の3月1日午前3時50分頃、西の空が突然明るく輝き、大きな火球に遭遇しました。暫くして轟音が鳴り響き、数時間後には白い粉が船体に降り積りました。これは放射性物質を含む「死の灰」でした。

アメリカ合衆国はビキニ環礁での一連の水爆実験をキャッスル作戦と呼び、この水爆に「ブラボー(万歳)爆弾」と名付けました。起爆用の核分裂(Fission)、核融合(Fusion)、天然ウランの核分裂(Fission)の3つの頭文字のFから3F式水素爆弾とも呼ばれ、放射性物質が多量に出る汚い爆弾でした。そしてその威力は広島原爆の一千

倍もありました。1945年の広島・長崎原爆投下と終戦の翌年から、米ソの核開発競争が始まり、時代は原爆からより強力な水爆へと移行した時期でもあり、アメリカ合衆国は当時この地域で多くの水爆実験を行っていました。危険水域外にいたにもかかわらず被ばくした「第五福竜丸」は、スパイの疑いを持たれて沈没させられるのを恐れ、どこにも無電を打たないで一目散に焼津港に戻りましたが、その戻る間に船員に急性放射線障害の症状が現われて来ました。3月14日に焼津港に戻り15日には症状の重い2人が東大附属病院に入院し、そして16日に新聞報道がなされて日本中が大騒ぎになりました。放射能に汚染されたマグロも市場に出回り世間に深刻な影を落とす事になりました(図2)。当時の新聞の切り抜きが放射研に残されています。いかに大きな騒ぎだったのかが良く分かります(図3)。その年の9月23日には船員の一人が人類初の水爆の犠牲者となられ、日本中が悲しみに包まれました。

3月16日の新聞記事を見て事件を知った静岡大学の塩川教授らは、測定器を片手に焼津港に駆けつけました。「第五福竜丸」に研究者として最初に乗り組み船員や漁獲物の汚染検査を行いました(図3)。そして船員や地元の人々への適切な指示や、全国から押し寄せるマスコミへの対応、汚染した漁獲物の処理などに昼夜を問わず調査に追われました。当時の静岡大学の調査グループは、塩川孝信教授、尾崎徳郎助教授、神原富尚講師、八木益男助手の4名でした。調査グループは持ち帰った「死の灰」の放射化学的分析にも力を注いで、その爆弾がそれまでの原爆とは異なる新しい水爆であると言う事や、「死の灰」が放射性物質を含んだサンゴ礁の細粉だと言う事も明ら



図2: 放射線を測定したマグロの検査証 静岡大学所蔵



図3: 昭和29年3月17日静岡新聞朝刊の記事(転載)

かにしました(表1)。

静岡大学では、1951年にRIの利用が始まり、1954年1月に放射性同位元素研究会が設けられ、同年3月の「第五福竜丸事件」の調査で実験量が飛躍的に増大しました。そして1956年には放射化学研究施設の設置の議がおり、1958年静岡大学文理学部附属放射化学研究施設が発足しました。1965年の文理学部改組に伴って理学部附属施設になり、1968年理学部が現在の大谷地区へ移転して、2003年に大幅な改修工事が行われ、新しい放射研が誕生しました。名称も現在では放射科学研究施設となっております(図4)。



図4: 新しくなった静岡大学理学部附属放射科学研究施設

事件の関連品について

静岡大学キャンパスミュージアムには事件の関連品である、当時の新聞の切り抜き、論文集、測定器、放射研を訪れた文部大臣等の署名、「死の灰」の降り積もった試料として、ドラム缶の錆、サメのひれ、船体の塗料、漁具を繋いだボンデンと言うシュロチクと言う植物の4点が展示保存してあります(図5・6・7・8)。

また放射研の本棚から古ぼけた3冊の本を見つけました。これは塩川教授が事件の前年に偶然本屋で購入して

いた、アメリカ合衆国のマンハッタン計画の研究記録書でした。この文献は「死の灰」の分析に大いに活用されましたが、当時の研究室の研究予算の数分の一に相当する高価な物でした。この文献もキャンパスミュージアムに展示してあり誰でも見る事が出来ます。

「死の灰」の分析

静岡大学キャンパスミュージアムに展示保存してある「死の灰」の4点の試料を、エネルギー分解能に優れ、核種の同定に利用されるGe半導体検出器でスペクトル分析

を行いました。この分析では試料の入ったサンプル瓶ごと測定しました。半世紀前の試料なので、測定時間を十分長くとりました。

測定結果としては、4つの試料とも662Kevの所にスペクトルのピークが見られました。これは核分裂生成物の¹³⁷Cs(半減期30年)によるものです。ドラム缶の錆と船体の塗料、ボンデンからは水爆の原材料である²³⁸Uの中性子捕獲とβ崩壊して出来る²⁴¹Am(半減期432年)のスペクトルピークが見られました。中性子放射化による生成物である⁶⁰Co(半減期5年)のスペクトルはドラム缶の錆から検出されました。サメのヒレからは¹³⁷Csのみのスペクトルが見られました。これは試料が立体的なので測定器からの距離等が影響したものとされます。3つの核種のスペクトルが見られたのはドラム缶の錆だけでした。「死の灰」の痕跡を最も強く残している試料と言えるかもしれません(図9・10・11・12)。

微量ですが、事件後半世紀経った試料から依然として¹³⁷Cs、²⁴¹Am、および⁶⁰Coのスペクトルピークが検出された事は大変興味深く、人類史上初の水爆による被ばくと言う「負の遺産」の歴史的価値をあらわす物と言えるかもしれません。

若い世代へのアンケート調査結果

静岡県静岡市内の中学2年生75名と、静岡大学理学部の生物学科、数学科、教育学部の地学科の19歳から21歳までの大学生144名にそれぞれ「第五福竜丸事件」に対するアンケート調査を実施しました。質問事項は

1. 「第五福竜丸事件」を知っていますか?
2. 事件と静岡大学の関係を知っていますか?
3. 「第五福竜丸」の展示を知っていますか?
4. 原子力の平和利用には賛成ですか?

の4事項です(図13)。

集計結果として、事件について知っているは、中学生57.3%、大学生56.9%。知らないは中学生30.7%、大学生17.4%。聞いた事があるは中学生12%、大学生25.7%。静岡大学との関係を知っていたのは、中学生8%、大学生17.4%。知らないが中学生85.3%、大学生56.3%。聞いた事があるは、中学生6.7%、大学生26.3%。「第五福竜丸」が展示されているのを知っていたのは、中学生21.3%、大学生18.1%。知らないは中学生70.7%、大学生70.1%。聞いた事があるは、中学生8%、大学生11.8%。原子力の平和

表1: 「第五福竜丸」に降り積った「死の灰」に含まれる核種の分析結果と広島・長崎の原爆の分析結果(静岡大学化学教室)

核種	静岡大	東京大	大阪市大	広島(1945)	長崎(1945)	長崎(1952)
ストロンチウム	89	○	○	○	○	
〃	90	○	○	○		○
イットリウム	90	○	○	○		○
〃	91	○	○		○	
ジルコニウム	95	○	○	○	○	
ニオブ	95m	○	○	○		
〃	95	○	○	○		
ルテニウム	103	○	○	○		
〃	106	○	○	○		
銀	111	○				
ロジウム	106	○	○	○		
アンチモン	127	○				
テルル	127	○				
〃	129	○	○	○		
〃	129m	○	○	○		
〃	132	○	○	○		
沃素	131	○	○	○		
〃	132	○	○	○		
セシウム	137					○
バリウム	137					○
〃	140	○	○	○	○	
ランタン	140	○	○	○	○	
セリウム	141	○	○	○		
〃	144	○	○	○	○	○
プラセオジウム	143	○	○		○	
〃	144	○	○	○	○	○
ネオジウム	147	○	○			
プロメシウム	147	○	○			
サマリウム	151					
硫黄	35		○			
カルシウム	45	○	○			
ウラン	237		○			
ネプツニウム	239		○			



図5: ドラム缶の錆 「死の灰」が降り積もった試料



図7: 船体の塗料 「死の灰」が降り積もった試料



図6: サメのひれ 「死の灰」が降り積もった試料



図8: ボンデン 「死の灰」が降り積もった試料

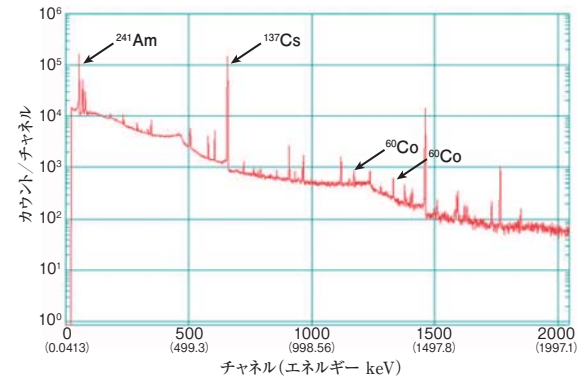


図9: スペクトル分析 ドラム缶の錆

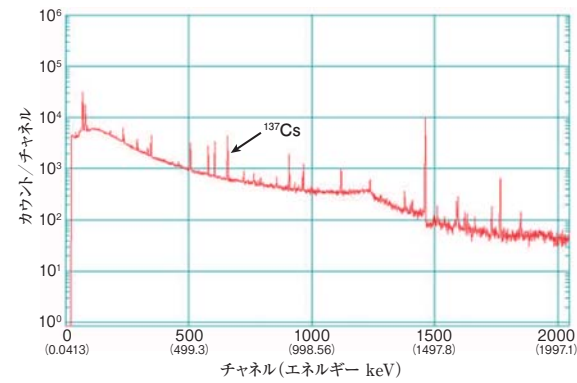


図10: スペクトル分析 サメのひれ

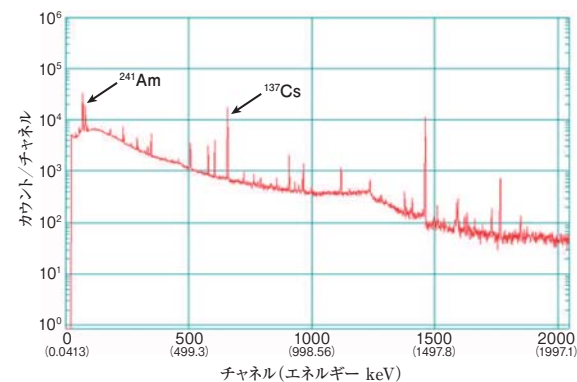


図11: スペクトル分析 船体の塗料

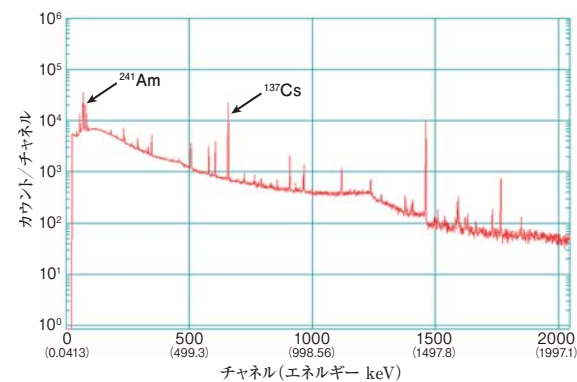
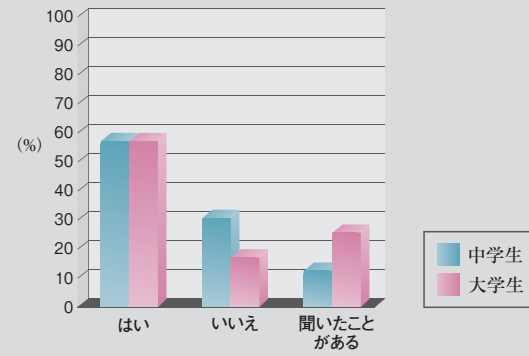
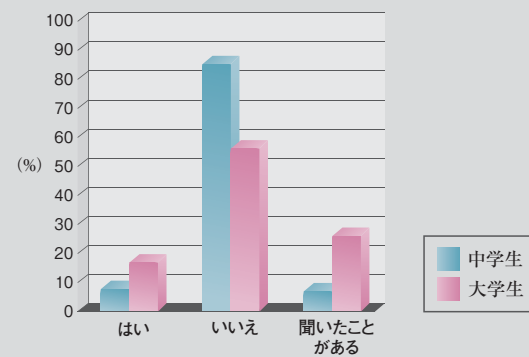


図12: スペクトル分析 ボンデン
「死の灰」が降り積った試料をGe半導体検出器で測定した結果

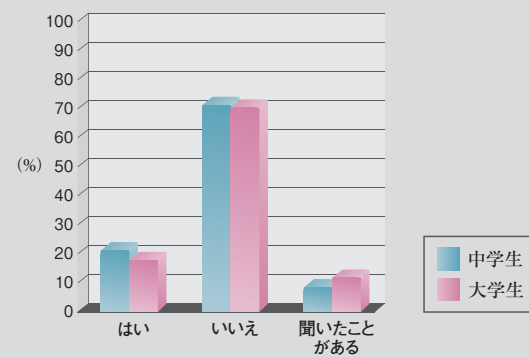
「第五福竜丸事件」を知っていますか?



静岡大との関係を知っているか?



船の展示を知っているか?



原子力の平和利用には?

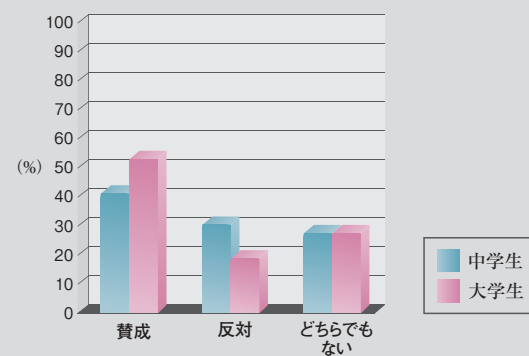


図13 「第五福竜丸事件」などについてのアンケート結果

利用に賛成は、中学生 41.3%、大学生 52.8%。反対は、中学生 30.7%、大学生 19.4%。どちらでもないは、中学生 28%、大学生 27.8%。以上のような結果になりました。13歳～21歳までの事件に対する意識が分かったとともに、事件の風化が進んでいる事を実感しました。

原子力の利用にも慎重な考えが伺えます。アンケートは静岡市内で行いましたが、静岡県外で行ったならば、さらに事件について知らない人が多くなると推測されます。機会があれば県外の若い人にもアンケート調査を行いたいと思っています。

事件後の「第五福竜丸」

事件の2年後の1956年5月に改造されて東京水産大学の実習船「はやぶさ丸」として生まれ変わりました。やがて老朽化して1967年3月廃船処分となり、エンジンを外して、東京都夢の島に捨てられました。その頃船体の保存運動が起こりました。1968年7月「第五福竜丸」のエンジンを取り付けた貨物船「第三千代川丸」が三重県熊野灘で沈没しました。1976年6月には多くの人達の努力で、東京都立第五福竜丸展示館で船体が永久保存されました。1996年12月には海中からエンジンが引き上げられて2000年にエンジンが同じく第五福竜丸展示館で展示保存されました(図14)。この様に「第五福竜丸」は様々な運命をたどった船と言えます。

まとめ

「第五福竜丸事件」については、これまで多くの方々がま

とめていますが、筆者は静岡大学との関わりと言う視点から、様々な事柄を調べて来ました。「第五福竜丸」の詳しい歴史やたどった運命を知った事、事件当時の試料から放射線の痕跡が認められた事や、若い世代のアンケート調査から事件の風化を実感した事など、新しい知見も得ることが出来ました。

語り継がなくてはならないこの事件について、今までとは異なった視点でまとめた事は社会的にも意義のある事だったと思います。現在静岡大学理学部の放射線関連の授業の講義等でも、まとめた物を利用してもらっています。

次世代に伝え残すためにも、まとめた物を、「放射線教育の教材」として利用し、事件の風化防止に向けてこれからも前向きに取り組んでいきたいと思っています。

参考・引用文献:

- 1) 河井智康, 漁船「第五福竜丸」, 同時代社, (1997)
- 2) 豊崎博光, 安田和也, 水爆ブラボー, 草の根出版会, (2004)
- 3) 第五福竜丸平和協会編, 母と子で見る第五福竜丸, 草土文化, (1994)
- 4) 第五福竜丸平和協会, 写真でたどる第五福竜丸, 第五福竜丸平和協会, (2004)
- 5) 大石又七, ビキニ事件の真実, みすず書房, (2003)
- 6) 静岡新聞, 心の航跡, 静岡新聞社, (2004)
- 7) 塩川孝信, 尾崎徳郎, 神原富尚, 八木益男, 松岡喜保, 高橋絢子, “ビキニの灰の放射線科学的研究(その1)”, 分析化学 3, 349-356, (1954)



図14: 引き上げられた「第五福竜丸」のエンジン 東京都立第五福竜丸展示館所蔵(筆者撮影)

基盤技術センター
研究基盤技術部 名誉研究員
平岡 武

はじめに

放医研では創立当時より放射線の線源として慣用 X 線がさまざまな照射実験に用いられてきた。X 線の発生装置は安定度など格段の進歩で、便利な精度の高い照射実験が可能な線源として放射線影響研究に寄与している。これら実験で得られる効果は、当然照射された線量に対して評価されている。照射された線量の測定においても測定器の機器開発や、線量算定に必要な物理パラメータの評価精度が向上している。それにも関わらず X 線線量に関して多少の混乱が生じているのは何か？それは線量の単位を正しく理解していないと言う問題である。

ここでは生物体照射に関する放射線関連量の基本的問題点と、線量測定に関するプロトコール類について解説して、特に生物系の研究者に X 線の吸収線量に関して理解してもらいたい点を重点的に説明する。

ICRU Report 60 では放射線関連量を、Radimetry (ラジオメトリー)、Interaction Coefficients and Related Quantities (相互作用係数及び関連量)、Dosimetry (線量計測)、Radioactivity (放射能) の範疇に分類している。線量計測はまた Conversion of Energy (エネルギーの変換) と Deposition of Energy (エネルギーの沈積) に分かれる。前者にはカーマ、照射線量、シーマが、後者には吸収線量などが入る。本テキストで問題となるのは線量計測であるが、X 線に対する Dosimetric Quantitie (線量計測量) のみを取り上げる。

1. 線量計測量に関する単位の思い違い

1. 線量単位の歴史的展開

X 線が発見されたのはご存知の通り 1895 年のことであるが、その量 (強さ) を表す単位が国際的に決ったのは 1928 年である。後に「照射線量」と決められたが、ICRU は X 線に対しての量を制定してその単位をレントゲン (単位 esu/cc) と命名した。レントゲンは「空気の電離量」で決められたが、電離量は吸収された量に比例はするが直接に吸収量を表さないから、1953 年「吸収線量 (単位 100erg/g 後に J/kg となり特別名称 Gy)」が誕生した。

当時は吸収線量を直接測定する方法が難しかったから、照射線量から組織の吸収線量を算定する方法が取られた。一方、国際度量衡委員会では単位は全て SI 単位 (国際単位系) に移行することを決定した。そのため cgs 単位系から出発したレントゲンと言う単位は C/kg で表さざるを得なくなり、吸収線量に対して中途半端な係数が生じた。この不便さを解消するためカーマ (単位は J/kg で特別名称 Gy) が作られ、空気カーマがレントゲンに取って代わった。しかし単位的には吸収線量と 1 体 1 の対応がついているが、特別名称が同じであることが屢々間違いを起すことになる。

2. X線線量供給における混乱

放医研では X 線を除く ¹³⁷Cs や ⁶⁰Co ガンマ線に対しては、基本的にはユーザの照射体の吸収線量で大部分は線量供給が成されている。高エネルギー光子線では線質が照射体中で一定と考えられる。所が、低・中エネルギー X 線では、管電圧や同じ管電圧でも付加フィルターの違いにより線質が大きく異なる。また照射野の大きさによる散乱線の影響で線質が大きく異なり、照射体の深さでも電離量と線量は比例しないことがある。一般に X 線では半価層 (HVL) が線質の指標となっている。X 線では特に散乱線の影響が大きいから単純に線量を決められず、これこれの条件での水吸収線量は Gy/m と表現できる。そこで放医研では開所以来管理担当部は、X 線照射装置についての線量供給は、照射線量または空気カーマで行ってきた。単位の SI (国際単位系) 化になるまでは、吸収線量は rad 単位記号、照射線量は R 単位記号であったのでそれほど問題は起らなかった。所が SI 単位に移行した現在では、吸収線量は Gy 単位記号、カーマは Gy 単位記号と同じ単位になったため混乱が生じた。正しく正確に表現していれば問題は起らないが、日本人の特性と言うか日本人独特のあいまいな表現でも容認することにより間違いが起る。線量はあくまでも「吸収線量」であり、空気カーマはあくまでも「カーマ」である。両者とも吸収物質名を標記する必要があるのに、このことが守られないために混乱が起る。

1935 年 ICRU は exposure dose (照射線量と訳した) とする量を制定したが、その後 1953 年この量を exposure と変更した。しかし、日本語では相変わらず照射線量と訳したため混乱の一因にもなっている。ICRU はこの時点で線量は吸収線量のみであることを決めている。現在では国家標準でも空気カーマが供給されているから、照射線量と言う物理量を使う必要がない。

現在、放医研で供給している線量計測量を空気カーマから他の量、例えば水吸収線量で供給すれば問題が無いかと言えばそうとも限らない。多くのユーザが水吸収線量での供給を望んでも、広範囲の研究領域を行っている研究所では空気カーマが良い者があろう。また水吸収線量で供給すると言っても種々の特定の制約 (例えばエネルギー) の基礎の線量であって、個々の照射条件に対応した線量を供給することは人的な体制からも無理と思われる。やはり基本的な物理量は空気カーマで行わざるを得ないであろう。

3. 単位の違いを無くすために

量と単位に関して英語ではかなりはっきりした分類が成されているが、日本語に訳す時あいまいさが出てくる。その代表が「放射能」で多くの研究者が矛盾を指摘している¹⁾。また「照射線量」は英語では exposure dose から exposure に変更されたにもかかわらず、日本語では古い訳語をそのまま使っている。

放射線をマウスなどに照射する時は照射量が「吸収線量」の場合であっても「カーマ」であっても必ず吸収物質を表現することが、単位に関して間違いを無くす最良の方法である。

最近の IAEA の線量算定プロトコール (TRS-398)²⁾ では中性子を除いて放射線治療で水吸収線量が基準物質として決められている。水が基準物質としての有効である議論は平岡³⁾も解説している。また間違い易い日本語として、照射線量と言う語句は「照射線量と言う物理量」と「照射する線量」の両方に使われることも、単位の混乱の一因である。後者で使う場合は必ず照射と線量の間ひらがなを入れることである。あるいは照射量と表現することである。何れにしても線量と言う言葉は基本的には吸収線量であることを銘記することである。

産業技術総合研究所は現在、国家標準として空気カーマを基準として設定しており、線量計は空気カーマで校正定数が表示されている。IAEA のプロトコール²⁾では基準線質に対して水吸収線量で校正して、その他のエネルギーには線質変換係数を掛けて線量の算定を行っている。この

ような体制が確立されれば水吸収線量での算定が簡単であろう。しかし、空気カーマでの校正も診断領域や放射線防護領域では有効に利用している場合もあり、現状では利用者が何の線量が必要であるかはっきり認識することである。線量の供給段階で水吸収線量に限ってしまうことにも、現状では放医研のように広い領域の研究者には少なからぬ問題がある。放医研では X 線に対して管理担当者が照射前あるいは照射時に線量計で空気カーマを測定しているので、装置の利用者が何の吸収線量が必要かを決めて、その変換係数を施して照射を行うことが大切である。

B. X線照射による線量計測プロトコール

1. 線量計測プロトコールのエネルギー範囲

生物系の研究者を対象に X 線についての簡単な特性と、現在先進国や国際機関で決められた X 線の線量計測プロトコールを紹介する。

IAEA が TRS-277⁴⁾として 1987 年に発表したのを始め (一部改定版が 1993 年に 2nd Edition として刊行)、IPEMB⁵⁾、DIN⁶⁾、NCS⁷⁾、AAPM⁸⁾ など線量計測プロトコールが提出された。慣用 X 線と言ってもいくつかのエネルギー領域に分類して線量を算定するが、エネルギー範囲の分類はプロトコールにより異なる。図 1 は 5 つのプロトコールによる定義のエネルギー範囲を示す。IPEMB だけエネルギー領域を 3 つに分けている。中エネルギー X 線に対して多くのプロトコールで測定はファントム中で行う。AAPM のみ空中測定とファントム中測定の両方を推奨している。空中測定には後方散乱 (backscatter) 係数を乗じて線量を求めるが、後方散乱係数は照射野や線源・電離箱間距離に依存する。測定器には安定度や使い勝手の良いファーマ電離箱が一般に使われている現状では、低エネルギー X 線を除きファントム中での測定が便利で間違いも少ない。

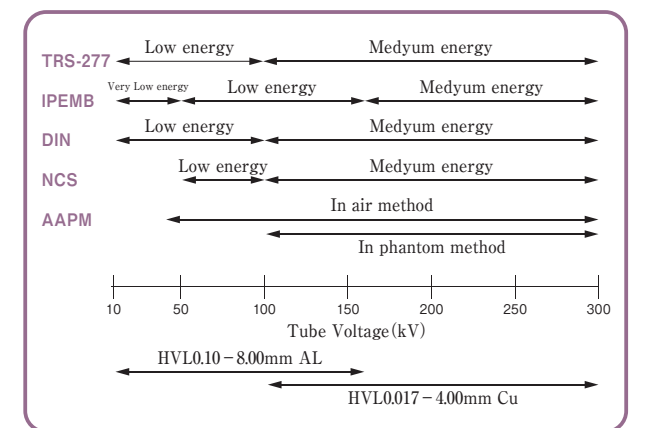


図1:各プロトコールでエネルギー範囲の分類

2. 中エネルギーX線の深部線量分布特性

線量測定の前、特に生物研究者に知ってほしいX線の基礎特性の一つを紹介する。放射線照射で特に重要である線量分布は深部線量分布と軸外線量比である。このうち軸外線量比は予め装置開発者が平坦な線量分布が得られるように調節されているので、X線の深部線量分布について考察する。図2に200kV (HVL=1.0 mmCu) に対するX線のTissue Air Ratio (TAR)⁹⁾を示す。TARは

$$TAR(A,d)=D(A,d)/D_{\Delta m}(A) \quad (1)$$

で与えられる。ここでAは照射野、dは深さ、Dは線量、 $D_{\Delta m}$ はX線により発生する二次電子平衡を達成する厚さの中心の線量である。X線では Δm の厚さは零と考えても良い。要するにTARはファントムが無い時の表面位置での線量とファントム中の同じ位置での線量比である。散乱線の影響で約2cmが最大線量になり、後述するファントム中の基準点として取られる。

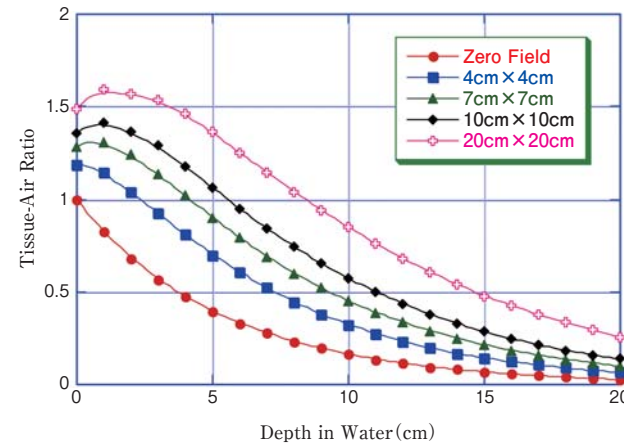


図2: 200kV (HVL=10 mmCu) に対するX線のTissue Air Ratio

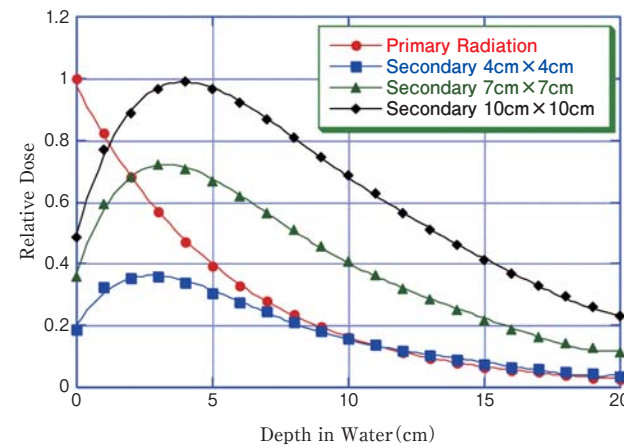


図3: 一次線と二次線の水の深さに関する分布

マウス程度の大きさ(3cm)を大照射野で照射すれば、深さ方向の線量減弱は高エネルギー光子にも匹敵する。これは散乱線の影響が大きいからである。零照射野の線量は一次線だけの影響と考えられるから、図2の各照射野の線量分布から一次線の線量を引いて二次線の線量分布を求めた分布を図3に示す。照射野の大きさと共に散乱線は急激に増えることを示している。

線質が0.5mm~3.0mmCuに対する後方散乱係数(Back Scatter Factor, B)を図4に与える。X線の後方散乱係数Bは深さ零(表面)でのTARと同じであるから

$$B=D(A,0)/D_{\Delta m}(A) \quad (2)$$

となる。後方散乱係数は線質により異なるが、X線では散乱線の影響が如何に大きいか理解できる。従って照射に関してはこの線線線が均等に照射されるように、例えばマウス照射であれば、マウスの配置や付加散乱体を考慮して均一な線量分布を達成しなければならない。図には¹³⁷Csガンマ線のBSFも掲げることが比較できる。

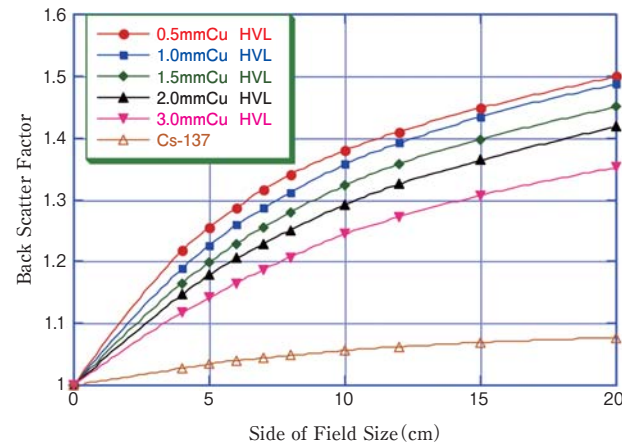


図4: 半値層が0.5mm~3.0mmCuに対する後方散乱係数

2. 水吸収線量の算定式

ここではX線全体のエネルギー領域については紙面の関係で省略するが、放医研で多くの照射に使われている100kVから250kVまでの中エネルギーX線の線量測定法に関して解説する。また、前述の如くファントム中の測定法のみ紹介する。線量算定式は基本的には皆同じであるが、ここでは代表的なプロトコールとして、IPEMBが表記した記号に従って説明する。

このエネルギー領域では水ファントムの深さ2cmでfull scatterになり、この深さを基準深に取る。円筒形電離箱

中心を2cmにセットし、ある照射野で深さ2cmの吸収線量は次式で与えられる。

$$D_{w,z=2}=M \cdot N_K \cdot k_{ch} \cdot \left[\frac{\mu_{en}}{\rho} \right]_{w/air} \Big|_{z=2,\phi} \quad (3)$$

ここで、 $D_{w,z=2}$ は深さ2cmに電離箱中心を設置して測定し、電離箱がない状態での水の吸収線量Gyである。Mは温度気圧補正を行った線量計の読み、 N_K は利用ビームと同じ線質に対する線量計の目盛り単位をグレイ単位の空気カーマに変換するための校正定数、 $[(\mu_{en}/\rho)_{w/air}]_{z=2,\phi}$ は照射野が ϕ で水中2cmにおけるフォトンスペクトルに対して平均した水と空気質量エネルギー吸収係数比、 k_{ch} は電離箱が空中で校正されたものが水中で測定されていることに対するレスポンスの違いなどの(擾乱)補正係数である。

ここで検討しているエネルギー以外を含む広範な領域で、多くのHVLに対する水と空気質量エネルギー吸収係数比を図5に示す。図中実線がIPEMBプロトコールで使用するよう勧告された値である。X線ではエネルギー(半値層)の違いにより空気カーマに対して吸収線量は1.02~1.11倍違うことがわかる。

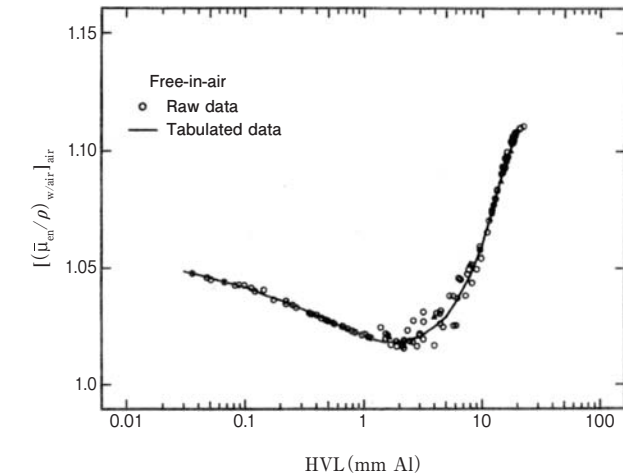


図5: Al半値層に対する水と空気質量エネルギー吸収係数比⁵⁾

3. 水と空気質量エネルギー吸収係数比の勧告値

ここで推奨する水と空気質量エネルギー吸収係数比の値は、全5プロトコールの平均値を採用する。図6に全プロトコールの値をプロットしてあり、実線は三次の多項式の近似曲線である。即ち、

$$y=a_0+a_1x+a_2x^2+a_3x^3 \quad (4)$$

である。ここでyは水と空気質量エネルギー吸収係数比、xは照射するX線のHVL (mmCu)である。係数は $a_0=1.0221$ 、 $a_1=0.048152$ 、 $a_2=-0.010698$ 、 $a_3=0.00088378$ である。照射野の大きさは直径10cm程度に対する値である(それ以外の大きさについては付録参照)。

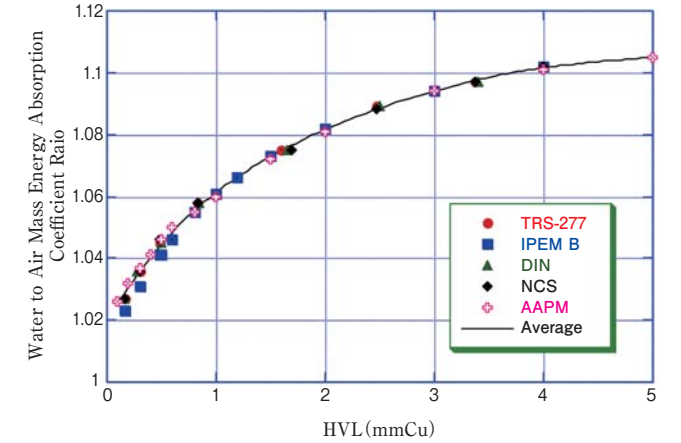


図6: 水と空気質量エネルギー吸収係数比の勧告値

4. 補正係数k_{ch}の推奨値

擾乱補正係数kは現在かなり不確定な点が多い。プロトコールにより記号が異なり、TRS-277、IPEMB、DIN、NCS、AAPMではそれぞれ

$$k=p_u^{TRS-277}=k_{ch}^{IPEMB}=k_{a \rightarrow w}^{DIN-5}=k_{ch}^{NCS}=P_{Q, cham}^{AAPM}$$

と言う記号を使っている。AAPMではOverall chamber correction factorと呼んでいる。またこの係数以外に P_{sheath} と言う補正係数も加えているが、低エネルギー以外ではほとんど1.00であるから無視した。

ここでの補正係数はAAPMとTRS-277で推奨している値とから判断した。図7に両プロトコールの値をプロットした。AAPMの全電離箱に対する値の平均値を実線で示す。TRS-277の低エネルギー値を除けば平均値と良く一致している。放医研の測定はPMMA(アクリル樹脂)の壁を有するファーマ型電離箱であるから、平均値を用いることを勧める。放医研の照射の多くは200kV(0.5mmAl+0.5mmCu filter)、HVL=0.5mmCuであるから k_{ch} は平均値でもTRS-277でも1.02である。

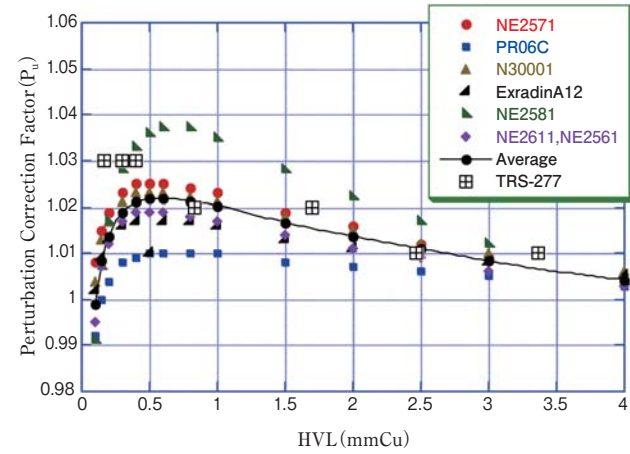


図7: 擾乱補正係数

おわりに

慣用 X 線の照射に関わる線量の評価で、何の吸収線量かあやふやに扱っている例が見られる。その問題の原因の一つは SI 単位系への移行に関係していることを指摘した。しかし大事なことは、皆が線量やカーマと言った物理量を正確に表現し、吸収物質も何であるか必ず理解することである。中性子を除き、軟組織への照射であれば水吸収線量を基準とすべきである。

放医研では X 線量は空気カーマで供給しているから、利用者はこの点をはっきり認識する必要がある。本テキストには主に生物学者のための吸収線量算定法について説明した。基本的には、正確な空気カーマの値に水と空気の質量エネルギー吸収係数比を乗ずれば水の吸収線量が求まることを理解されたい。水以外の物質の吸収線量を求める時は、その物質と空気の質量エネルギー吸収係数比を乗ずれば良い。空気カーマと水吸収線量では図6に示す値だけ異なることを常に考慮しなければならない。さらに測定をファーマ型電離箱で行った場合には、3式にある擾乱補正係数(図7)も考慮する。

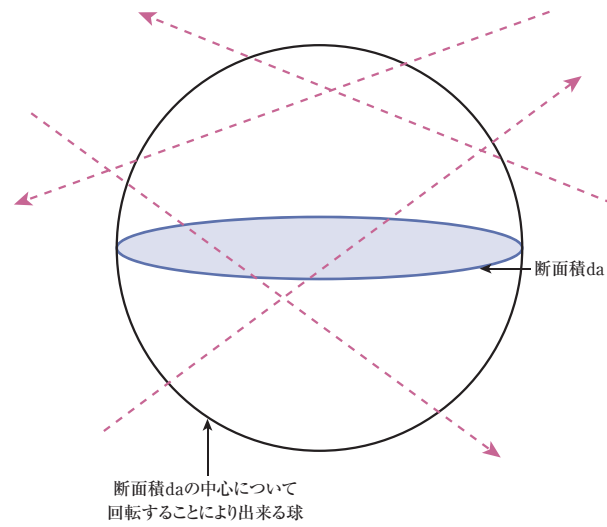
付録

A. 吸収線量、照射線量、カーマの関係

放射線場を表す最も基本量はフルエンスである。フルエンスには粒子フルエンスとエネルギーフルエンスがある。光子の線量測定で用いられるのは後者で、ICRU¹⁰⁾によれば次のように定義される。エネルギーフルエンス Ψ は dR を da で除した商である。ここで dR は断面積 da の球内に入射した放射線のエネルギー量である。したがって、

$$\Psi = \frac{dR}{da}$$

である。単位は $J m^{-2}$ である。図 A1 に示すように断面積 da で作られた球に、どの方向からでも入射するエネルギーの和が dR である。エネルギーの単位 J はジュールである。この量と相互作用係数との積により線量が定義される。



図A1: エネルギーフルエンスの概念図

照射線量は現在ほとんど使われないから必要ないが、歴史的経緯から3者の比較を行う。

1. 吸収線量(Absorbed dose)

媒質の吸収線量 D_{med} は電子平衡が成り立つ条件では、

$$D_{med} = \Psi \cdot (\mu_{en}/\rho)_{med} \quad (A1)$$

となる。ここで $(\mu_{en}/\rho)_{med}$ は媒質の質量エネルギー吸収係数であり、単位は $m^2 kg^{-1}$ である。 D_{med} の単位は J/kg で、 $1J/kg$ を特別名勝 Gy を使うことが許されている。

2. 照射線量(Exposure)

照射線量 X は空気だけが対象物質であり、

$$X = \Psi \cdot (\mu_{en}/\rho)_{air} \cdot e/W_{air} \quad (A2)$$

となる。ここで e は素電荷、 W はガス中(この場合は空気)に1イオン対を作るのに必要な平均エネルギーで、 e/W の単位は C/J で、 C はクーロンである。これらの単位を代入すれば X の単位は C/kg となる。旧単位の $1R = 2.58 \times 10^{-4} C/kg$ である。

3. カーマ(Kinetic energy released per unit mass)

空気のカーマ K_{air} は

$$K_{air} = \Psi \cdot (\mu_{tr}/\rho)_{air} \quad (A3)$$

となる。ここで $(\mu_{tr}/\rho)_{air}$ は空気の質量エネルギー転移係数で、単位は質量エネルギー吸収係数と同じである。質量エネルギー転移係数は中エネルギー以下の X 線領域では、質量エネルギー吸収係数と同じと考えても良い。カーマの特別名称は Gy である。

照射線量は空気の電離量であるから、空気の吸収線量を求めるには W/e を掛ければ求まる。また媒質の吸収線量は質量エネルギー吸収係数の媒質と空気の比を掛ければ決定できる。即ち、

$$\Psi \cdot (\mu_{en}/\rho)_{air} \cdot e/W_{air} \cdot W_{air}/e \cdot \frac{(\mu_{en}/\rho)_{med}}{(\mu_{en}/\rho)_{air}} = \Psi \cdot (\mu_{en}/\rho)_{med} = D_{med} \quad (A4)$$

となり、媒質の吸収線量と等しくなる。

媒質としてマウス照射であれば軟組織(近似物質として水)の相互作用係数を用いる。

B. $R \rightarrow rad$ と $K_{air} \rightarrow Gy$ の関係

吸収線量が rad (ラド)、照射線量が R (レントゲン) の単位系の時、媒質の線量 (D_{med}) 算定式は電子平衡が成り立つ条件では

$$D_{med} = M \cdot N_x \cdot 0.876 \cdot \left[\frac{(\mu_{en}/\rho)_{med}}{(\mu_{en}/\rho)_{air}} \right] = M \cdot N_x \cdot f \quad (A5)$$

で表される。ここで M は線量計の読み、 N_x は X 線に対する照射線量校正定数、 (μ_{en}/ρ) は添字で表した物質の質量エネルギー吸収係数である。 $1rad = 10^{-2}Gy$ である。質量エネルギー吸収係数比と 0.876 の積を f とし、吸収線量変換係数と称し、種々の半価層 (HVL) の X 線に対して求められた。

一方 SI 単位系に変更された現在は

$$D_{med} = M \cdot N_K \cdot \left[\frac{(\mu_{en}/\rho)_{med}}{(\mu_{tr}/\rho)_{air}} \right] \quad (A6)$$

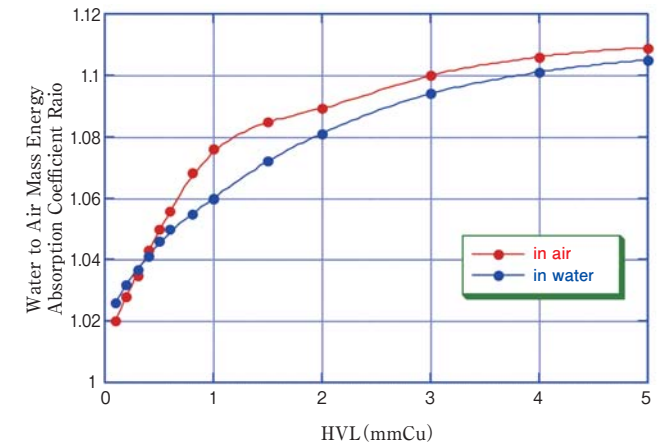
で与えられる。ここで N_K は X 線に対する空気カーマ

校正定数である。X 線に対する質量エネルギー転移係数は質量エネルギー吸収係数と同じとして良い。

(A5) 式の 0.876 という値は、空気が1レントゲンに照射された時に何ラドになるかの値である。 $1R = 2.58 \times 10^{-4} C/kg$ であるから、 $W/e = 33.97 J \cdot C^{-1}$ を掛ければ (A5) (A6) 式は同じである。(A5) 式ではレントゲン単位の校正値が吸収線量ラドになるのに対して、(A6) 式ではグレイ単位の校正値が吸収線量グレイになるのが異なる。

C. 空中と水中での水と空気の質量エネルギー吸収係数比

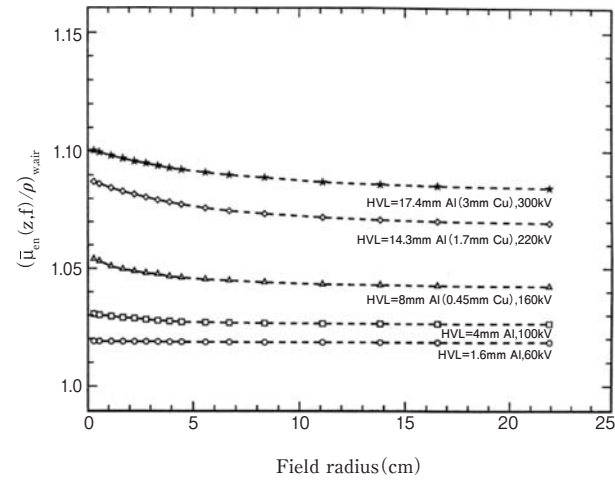
(3) 式では水と空気の質量エネルギー吸収係数比の値は水中の値を使用することが決っていた。この比が空中ではどの程度違うか AAPM のプロトコールから図 A2 にプロットした。低エネルギーではほとんど同じであるが、中エネルギーでは1~2%異なる。



図A2: 空中と水中での水と空気の質量エネルギー吸収係数比(AAPM)

D. 照射野の大きさと水と空気の質量エネルギー吸収係数比

Knight and Nahum¹¹⁾ はモンテカルロ計算により、水と空気の質量エネルギー吸収係数比の照射野の影響を求めた。図 A3 は Royal Marsden Hospital (RMH) の5つのスペクトルに対して、水中2cmに於ける照射野の関数としての水と空気の質量エネルギー吸収係数比を示す。エネルギーが高い程小照射野での変化が大きい。本文では照射野の大きさを10cm直径程度の水と空気の質量エネルギー吸収係数比の値を使用することを推奨しているが、直径が40cm位では0.5%程値が小さくなる。但し、照射野が極端に小さくなると水と空気の質量エネルギー吸収係数比は大きくなるので注意が必要である。彼らは5つのスペクトルに対する水と空気の質量エネルギー吸収係数比の、水ファントムの深さによる変化も計算しているが違いは小さい。



図A3: 照射野の関数としての水と空気質量エネルギー吸収係数比¹¹⁾

X線の線量計測に関する単位について説明したが、詳しく知りたい方はICRU Report 60¹⁰⁾を見ることを奨める。レポートは森内、平岡が試訳しており、希望する方やこのテキストに疑問・質問のある方は hitak@nirs.go.jp にメールされたい。

参考文献

- 1) 森内和之: 放射線ものがたり、裳華房、東京、1996
- 2) IAEA: Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy, An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water, Technical Reports Series No. 398, IAEA, 2000
- 3) 平岡武、水と組織のエネルギー転移等価性、医用標準線量、13巻2号、27-36、2008
- 4) IAEA: Absorbed Dose Determination in Photon and Electron Beams, An International Code of Practice, Technical Reports Series No. 277, IAEA, 1987- Absorbed Dose Determination in Photon and Electron Beams, An International Code of Practice, Technical Reports Series No. 277, 2nd edn, IAEA, 1997
- 5) Working Party of the IPEMB: The IPEMB code of practice for the determination of absorbed dose for x-rays below 300 kV generating potential (0.035 mm Al -4 mm Cu, : 10-300 kV generating potential), Phys. Med. Biol., 41, 2605-2625, 1996
- 6) Deutsch Institut für Normung (DIN): Klinische Dosimetrie: anwendung von Röntgenstrahlen mit Rohrensparnungen von 100 bis 400 kV in der Strahlentherapie (DIN6809-5), Berlin, 1996

- 7) Nederlandse Commissie voor Stralingsdosimetrie (NCS): Dosimetry for low and medium energy x-rays: a code of practice in radiotherapy and radiobiology NCS Report 10, Netherlands Commission on Radiation Dosimetry, 1997
- 8) AAPM: AAPM protocol for 40-300 kV x-ray beam dosimetry in radiotherapy and radiobiology, Med. Phys., 28, 868-893, 2001
- 9) BJR Supplement 25: Central Axis Depth Dose Data for Use in Radiotherapy, British Institute of Radiology, 1996
- 10) ICRU Report 60: Fundamental Quantities and Units for Ionizing Radiation, ICRU, Bethesda, Maryland 20814 USA, 1998
- 11) R K Knight and A E Nahum, : Depth and field size dependence of ratios of mass energy absorption coefficient, water to air, for kilovoltage x ray dosimetry, IAEA-SM-330/17, 361-370,1993

最近の成果

天然抗酸化物質の化学修飾による新規活性酸素種・フリーラジカル消去物質の開発

重粒子医科学センター 粒子線生物研究グループ
放射線効果修飾研究チーム 主任研究員
中西 郁夫



中西 郁夫 (Kazuo Nakamishi)

はじめに

ビタミンEやポリフェノールなどの天然抗酸化物質は、活性酸素種やフリーラジカルを非常に効率良く消去することから、生活習慣病予防や老化防止のための医薬品のみならず、放射線防護剤への応用が期待されています。しかし、これらの天然抗酸化物質は、高濃度条件下や金属イオン存在下では逆に活性酸素種を生成し、細胞毒性や遺伝毒性を示すという報告もあります¹²⁾。このような背景のもと、筆者らは天然抗酸化物質の構造を化学修飾することによって、その生物活性を精密に制御できれば、放射線防護剤へ応用可能な新規機能性分子を開発できるのではないかと考え、研究を展開しています³⁻⁸⁾。その中から本稿では、ブラジル産のプロポリスにのみ含まれているアルテピリンC (1H) という天然抗酸化物質とその誘導体2H-7H (図1)のフリーラジカル消去反応における構造活性相関および反応機構について検討した結果をご紹介します。

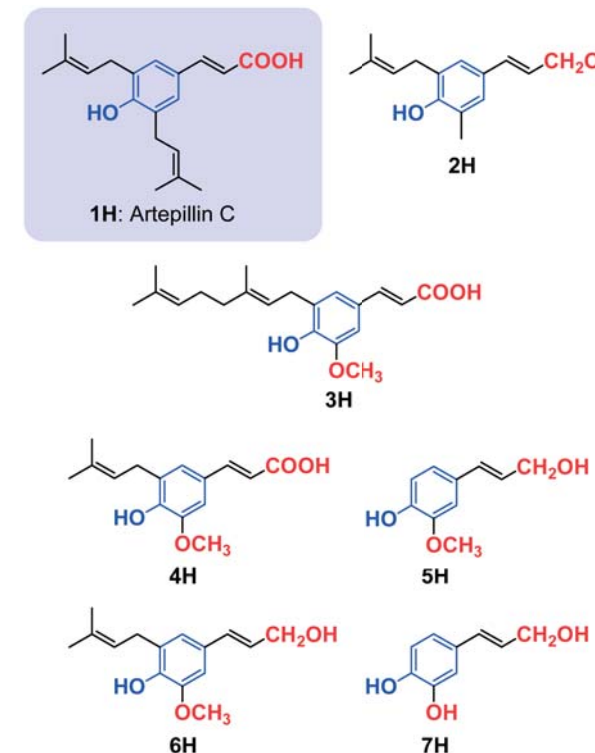


図1:アルテピリンC (1H)およびその誘導体2H-7Hの化学構造

抗酸化物質のフリーラジカル消去速度

活性酸素種やフリーラジカルは、不安定で寿命が非常に短いため、取り扱いが困難です。したがって、抗酸化物質の活性を *in vitro* で評価する際には、室温でも比較的安定な DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) ラジカル (DPPH[•]) やガルピノキシルラジカルを活性酸素種のモデルとして用います。アルゴンガスをバブリングすることで溶存酸素を除去したアセトニトリル (MeCN) 中、25℃で、DPPH[•]にアルテピリンC誘導体7Hを加えると、DPPH[•]に由来する516 nmの吸収の減少が観測されました。これは、図2に示すように、7HがDPPH[•]を効率良く消去したことを示しています。

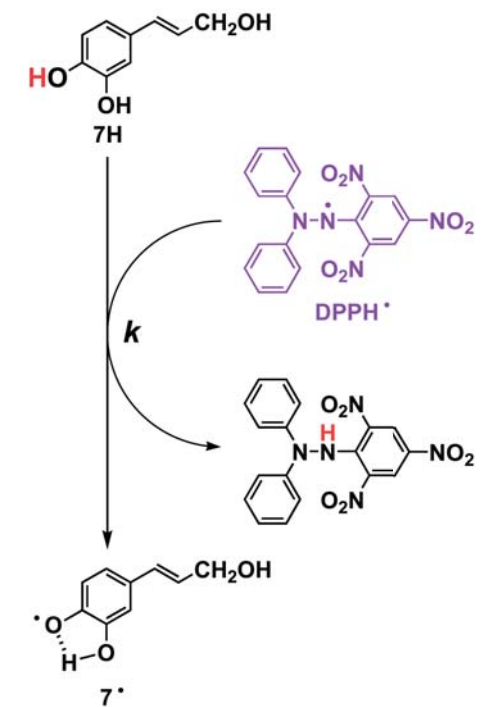


図2:アルテピリンC誘導体7HによるDPPH[•]消去反応

DPPH[•]の濃度に対して7Hの濃度が過剰の擬一次条件下で、DPPH[•]に由来する516 nmの吸光度の時間変化をユニソクRSP-1000-02NM型ストップフロー分光測定装置で追跡し、得られたデータを速度論的に解析することにより擬一次速度定数 (k_{obs}) を決定しました (図3)。

種々の濃度の7Hに対して得られた k_{obs} 値は、7Hの濃

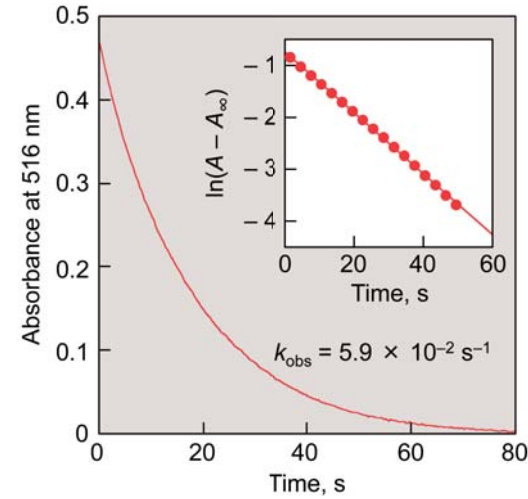


図3 :7HとDPPH*との反応における516 nmの吸光度変化(MeCN中、25°C、[7H] = 2.0 × 10⁻³ M、[DPPH*] = 7.5 × 10⁻⁵ M) (挿入図: 擬一次プロット)

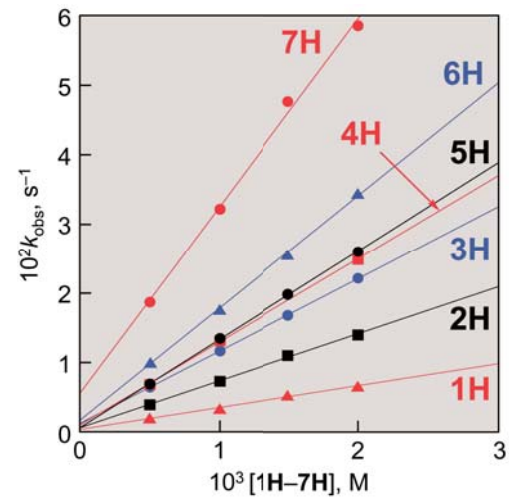


図4 :1H-7HとDPPH*との反応における擬一次速度定数(k_{obs})の1H-7H濃度依存性

度に対して一次の依存性を示しました(図4)。得られた直線の傾きから、7HによるDPPH*消去の二次反応速度定数(k)を $2.7 \times 10 \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$ と決定することができました。

1H-6Hについても同様に k 値を決定し、結果をまとめて表1に示します。

表1: 1H-7HのDPPH*消去二次反応速度定数(k)、O-H結合解離エンタルピー(D_{HT})、およびイオン化ポテンシャル(IP)

compound	k $\text{M}^{-1} \text{ s}^{-1}$	D_{HT} kcal mol^{-1}	IP kcal mol^{-1}
1H	3.2	0	162.4
2H	6.8	-2.1	154.3
3H	1.1×10	-4.1	162.6
4H	1.2×10	-4.1	162.3
5H	1.3×10	-4.5	158.2
6H	1.6×10	-6.0	153.2
7H	2.7×10	-8.1	161.0

フリーラジカル消去における構造活性相関

1Hの片方のプレニル基が電子供与性のメトキシ基(-OCH₃)に変わると(4H)、 k 値が約4倍増大しました。また、3Hと4Hの比較から、炭素鎖の長さは k 値にはほとんど影響を与えないことがわかりました。4Hのカルボキシル基(-COOH)をヒドロキシメチル基(-CH₂OH)に還元すると(6H)、DPPH*消去速度がわずかながら上昇しました。さらに、プレニル基をもたない5Hは、6HよりもDPPH*消去活性が低いことがわかりました。一方、カテコール構造を有する7Hは、今回用いた化合物(1H-7H)の中で最も優れたDPPH*消去活性を示しました。これは図2に示すように、DPPH*消去の結果生成するフェノキシラジカル7*が、もう1つのフェノール性水酸(OH)基の水素原子による分子内水素結合で顕著に安定化されるためであると考えられます。

密度汎関数計算による反応機構の解析

フェノール構造を有する抗酸化物質によるフリーラジカル消去反応には、大きく分けて2通りの反応機構が知られています。すなわち、フェノール性OH基から水素原子(H*)がフリーラジカルに移動することでこれを消去する水素原子移動機構と抗酸化物質がフリーラジカルを電子移動還元する電子移動機構です。前者の場合には、フェノール性OH基のO-H結合解離エンタルピー(BDE: Bond Dissociation Enthalpy)が小さいほど、後者の場合には、抗酸化物質のイオン化エネルギー(IP: Ionization Potential)が小さいほど、フリーラジカル消去速度が速くなる、すなわち、フリーラジカル消去活性が高くなると予想されます。そこで、BDE値に相当する1H-7Hと対応

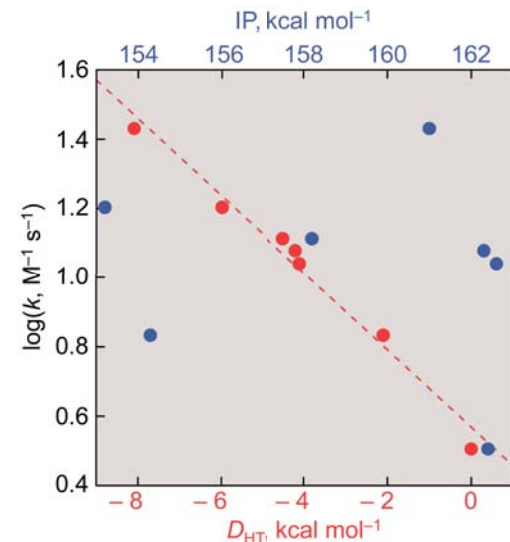


図5: $\log k$ 値の D_{HT} 値(●)およびIP値(●)との関係

するフェノキシラジカルのエネルギー差(D_{HT})およびIP値を密度汎関数(DFT: Density Functional Theory)計算(B3LYP/6-31G*レベル)により求めました(表1)。その結果、図5に示すように、 k 値の対数($\log k$)と D_{HT} 値との間には良好な直線関係が得られましたが、 $\log k$ 値とIP値との間には相関性が認められませんでした。以上の結果から、MeCN中における1H-7HによるDPPH*消去反応は、電子移動反応を経由せず、1段階の水素原子移動機構で進行していると考えられます。

おわりに

本研究により、水素原子移動機構でフリーラジカルを消去する抗酸化物質では、ベンゼン環を電子供与性基で置換すると、フェノール性OH基のO-H結合解離エンタルピーが減少し、フリーラジカル消去活性を増強できることが明らかとなりました。また、DFT計算で理論的に求めた D_{HT} 値と実験的に求めた $\log k$ 値との間に良好な直線関係が得られたことから、新規化合物を合成する前に、フリーラジカル消去活性をDFT計算により予測することが可能であることがわかりました。今回用いた化合物の毒性についてはまだ検討しておりませんが、天然抗酸化物質の化学修飾により抗酸化活性を増強し、毒性を軽減することができれば、優れた放射線防護剤の開発のみならず、がんや心臓病等の生活習慣病の予防や老化防止の医薬品へ応用可能な機能性分子を開発することが可能になると考えられます。

謝辞

本研究を行うにあたり、アルテピリンCおよびその誘導体を合成していただいた徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部の堀均教授、宇都義浩准教授に心より感謝いたします。また、密度汎関数計算を行っていただいた大阪大学大学院工学研究科の福住俊一教授、大久保敬客員准教授に深く御礼申し上げます。さらに、安西和紀チームリーダーをはじめ、本研究を行うにあたり非常に有益なご助言をいただいた多くの先生方ならびに実験にご協力いただいた方々に心から感謝の意を表します。

参考文献

- Oikawa, S., Furukawa, A., Asada, H., Hirakawa, K., and Kawanishi, S., "Catechins induce oxidative damage to cellular and isolated DNA through the generation of reactive oxygen species," Free

Radical Res., 37, 881-890, 2003.

- Fukuhara, K., Nagakawa, M., Nakanishi, I., Ohkubo, K., Imai, K., Urano, S., Fukuzumi, S., Ozawa, T., Ikota, N., Mochizuki, M., Miyata, N., and Okuda, H., "Structural basis for DNA-cleaving activity of resveratrol in the presence of Cu(III)," Bioorg. Med. Chem., 14, 1437-1443, 2006.
- Fukuhara, K., Nakanishi, I., Kansui, H., Sugiyama, E., Kimura, M., Shimada, T., Urano, S., Yamaguchi, K., and Miyata, N., "Enhanced radical-scavenging activity of a planar catechin analogue," J. Am. Chem. Soc., 124, 5952-5953, 2002.
- Fukuhara, K., Nakanishi, I., Shimada, T., Ohkubo, K., Miyazaki, K., Hakamata, W., Urano, S., Ikota, N., Ozawa, T., Okuda, H., Miyata, N., and Fukuzumi, S., "A planar catechin analogue as a promising antioxidant with reduced prooxidant activity," Chem. Res. Toxicol., 16, 81-86, 2003.
- Nakanishi, I., Ohkubo, K., Miyazaki, K., Hakamata, W., Urano, S., Ozawa, T., Okuda, H., Fukuzumi, S., Ikota, N., and Fukuhara, K., "A planar catechin analogue having a more negative oxidation potential than (+)-catechin as an electron-transfer antioxidant against a peroxy radical," Chem. Res. Toxicol., 17, 26-31, 2004.
- Hakamata, W., Nakanishi, I., Masuda, Y., Shimizu, T., Higuchi, H., Nakamura, Y., Saito, S., Urano, S., Oku, T., Ozawa, T., Ikota, N., Miyata, N., Okuda, H., and Fukuhara, K., "Planar catechin analogues with alkyl side chains, a potent antioxidant and an α -glucosidase inhibitor," J. Am. Chem. Soc., 128, 6524-6525, 2006.
- Manda, S., Nakanishi, I., Okubo, K., Uto, Y., Kawashima, T., Fukuhara, K., Okuda, H., Hori, H., Ozawa, T., Ikota, N., Fukuzumi, S., and Anzai, K., "Enhanced radical-scavenging activity of naturally-oriented artemillin C derivatives," Chem. Commun., 2008, 626-628.
- Fukuhara, K., Nakanishi, I., Matsuoka, A., Matsumura, T., Honda, S., Hayashi, M., Ozawa, T., Miyata, N., Saito, S., Ikota, N., and Okuda, H., "Effect of methyl substitution on antioxidative property and genotoxicity of resveratrol," Chem. Res. Toxicol., 21, 282-287, 2008.

第2回共用施設(PASTA&SPICE)共同研究成果報告会

基盤技術センター 研究基盤技術部
放射線発生装置利用技術開発課 技術員
及川 将一



及川 将一 (Shoichi Oikawa)

はじめに

今回で第2回目となる共用施設(PASTA&SPICE)共同研究成果報告会(以下、成果報告会)を、平成21年3月18日に、重粒子治療推進棟大会議室にて開催しました。

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。本報告会は、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されたもので、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3回目となります。発表形式は口頭発表のみで、PASTA&SPICEの利用者で、共同研究契約に基づく所内外の共同研究者の方から10題の報告がありました。また、新しい試みとして「PASTA&SPICEの未来について」というテーマで、ユーザー間のPIXE分析技術等に関する情報共有を目的として、パネルディスカッションを行いました。以下、各発表の内容を簡単に紹介します(写真1)。

共用施設(PASTA&SPICE)について

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る。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ある。それ故、高感度に多元素を同時分析でき、かつ定量可能な分析法であるPIXE分析法が注目されている。PIXE分析は、静電加速器等で加速した粒子(主に1~4 MeVの陽子が用いられる)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、1 mg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る。これらの特徴に加えて、照射粒子を細く絞ってラスタースキャンすることにより2次元の元素マップが得られるマイクロビームスキャンPIXEや大気中に加速粒子を取り出すことで液状試料の測定も可能にした液滴PIXEなど、試料の状態や分析目的に合わせて3つのビームラインが選択でき、いずれも共用に提供している。更に、陽子線マイク

ロビームを用いて、1個1個の細胞を狙い撃ちすることのできるマイクロビーム細胞照射装置(SPICE)も提供を始めている。

セッション1

このセッションでは、最初に装置の維持管理を担当している筆者が、「PASTAにおける技術開発の現状」と題して講演し、PASTAの概要とともに、PASTAが有する3種のPIXE分析装置における技術開発の現状・動向について報告した。その発表の中で、これまでマイクロビームスキャンPIXE分析装置において、細胞核を標識するBrdUに含まれるBrや、抗がん剤に含まれるPt等の重元素分析に対する要望が多く、重元素を高効率で計測可能な検出系の確立が望まれていたことから、重元素から発生するエネルギーの高い特性X線の検出に優れた新規CdTe検出器を導入し、その検出効率の検証等の特性試験を進めている現状について説明した(写真2)。

続いて、水野和恵氏(東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻)等により、「PIXE分析法による重金属含有X線感受型DDS化抗がん剤の細胞内分布解析」と題する講演があった。近年、深部癌に対する新しい化学放射線治療として、放射線感受性をもつ薬剤を腫瘍部に送達させ、体外から患部へピンポイントでX線を照射するX線Drug Delivery System(DDS)が提案されている。放射線感受性を持つ薬剤としては、重金属である金や白金を含有する薬剤が候補として挙がっており、中でもシスプラチンはDNAに結合しその機能を妨げることで抗癌作用を示す白金製剤で、X線DDSへの応用が期待されている。近年開発されたシスプラチンミセル(ナノキャリア株式会社製)は、シスプラチンを高分子ポリマーで内包したDDS薬剤であり、シスプラチン単体よりも血中滞留性が高く、

腫瘍に集積しやすいという特徴がある。腫瘍部においてシスプラチンは高分子ポリマーから徐々に放出され、腫瘍細胞に取り込まれると考えられており、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る。これまでにPIXE分析法を用いて、細胞内白金含有量測定を行ってきた。しかし多数の細胞を測定する方法では、細胞内の薬剤動態を知ることはできないため、本共同研究では、マイクロビームスキャンPIXEを用い、個々の細胞内における白金の分布画像を得ることを試みた。シスプラチンミセルがエンドサイトーシスによって直接取り込まれた場合は局在が見られるはずであるが、白金は一様に分布しており、ミセルから放出されたシスプラチンが拡散によって取り込まれていることが確認された。今後は、ヒト癌細胞を用いて同様の評価を行う予定であり、さらに異なるサイズやリガンドをもつ高分子ミセルについても、取り込みの分布や速度の比較を行う予定である。

続いて、鈴木享子氏(東京学芸大学大学院)等により、「Micro-PIXEを用いた淡水・海水飼育イトウの硬組織ストロンチウム分析」と題する講演があった。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る。イトウの生態については、生息環境や産卵生態こそ明らかにされつつあるものの、降海性を中心とした生活史に関する知見は乏しい。そこで、淡水・海水でそれぞれ約6ヶ月間飼育したイトウの鱗を摘出し、飼育期間に形成された縁部を対象にmicro-PIXEを用いて、淡水・海水飼育期間におけるSr量を測定した。また、淡水・海水飼育イトウの鱗断面の凍結切片の作製を試み、micro-PIXEにより隆起線断面の中心部を分析した。さらに、6ヶ月間の海水飼育がどのように鱗に反映されているかを調べるため、隆起線と対応させて鱗縁部から中心方向への分布を解析した。また、合わせて鱗の蛍光標識実験により、飼育期間中の隆起線形成数の把握を試みた。飼育期間における鱗縁部のSr量は、淡水飼育個体に比べ海水飼育個体の方が高い傾向が見られた。また、鱗縁部から中心部へのSrの分布をみると、飼育前(淡水飼育)に比べ飼育期間(海水飼育)においてSrが上昇する傾向が認められた。これらのことから、鱗のSr量がそれぞれの飼育環境を反映している可能性が示唆された。また、予備調査で行った鱗の蛍光標識実験における隆起線形成数は、1ヶ月あたり1本であった。海水飼育個体でSrの上昇が認められた部位の隆起線数は13本程度であり、6ヶ月間の海水飼育期間



写真1: 成果報告会の発表の様子



写真2: マイクロビームスキャンPIXE分析装置

とはずれが生じた。これは鱗特有の石灰化機構に因るものと考えられる。今後は、正確な生息環境履歴の推定のために、イトウの隆起線形成や石灰化のメカニズムをさらに明らかにしていく予定である。

続いて、伊藤雅紀氏（東京学芸大学教育学部）等により、「水質指標生物イシマキガイを用いた微量元素モニタリング手法に関する基礎研究」と題する講演があった。指標生物を用いて河川の水質を判定する水生生物調査が市民や子どもたちによって全国各地で行われている。このような水生生物の生息状況の把握だけではなく、生物に含まれる物質に着目することで更なる環境の詳細情報を得られる可能性があり、市民活動と研究機関との連携によりその実現が期待されている。そこで本共同研究では、市民活動と研究の現場との連携による、より詳細な環境モニタリングの実現を目標として、水質指標生物の中でも採集・分類が容易なイシマキガイ (*Clithon retropictus*) を用いた微量元素モニタリング手法の確立のための基礎研究を行った。具体的には、①採集個体の処理を含めた試料作製、②微量元素分析の条件設定、③データ解析、以上3つの観点からの検討を行い、イシマキガイにおける微量元素の詳細分析の可能性やモニタリング指標としての有効性について考察した。X線強度から各組織器官における金属濃度を換算し、得られた値をもとにメタルバランス図で示すことで、組織器官ごとの金属含有傾向を明瞭に表すことができた。また、採集地の河川水の金属濃度との相関から、イシマキガイの鰓の金属濃度が、河川水中のマンガンと銅の影響を受けている可能性が示唆された。

続いて、長谷川純崇氏（放医研・分子イメージング研究センター）等により、「PIXEによるメダカ移植腫瘍の微量元素マッピングの試み」と題する講演が行われた。長谷川氏等のグループは、がんの分子イメージング研究の立場から、がん細胞における微量元素（特に微量金属元素）の生化学的代謝とその薬理的役割に注目して研究を行っている。その成果として、今までにアスベスト中皮腫発がん過程と鉄結合タンパク質フェリチンの関係、ヒト中皮腫細胞内でのマンガン、銅、亜鉛量の異常、また生体鉄を利用した遺伝子発現イメージングの開発を行ってきた。最近、生体内におけるがん細胞の“ふるまい”を直接観察するため、蛍光イメージング技術を融合させたメダカ移植がんモデルを作製した。このモデルではがんの増殖や転移が細胞レベルの解像度で簡単に観察出来るため、今後のがん生物学研究に大いに貢献するものと期待されている。このモデルを使って、がんと微量金属元素の関係について考察して

いく予定であり、その試みの1つとして、PIXEによるメダカ移植腫瘍の微量元素マッピングを行っている現状について報告があった。

セッション2

このセッションでは、始めに斉藤勝美氏（秋田県健康環境センター上席研究員）等により、「CCA 防腐処理材のCr、Cu、Asの濃度分布」と題する講演が行われた。CCA 防腐処理材は30年以上の耐久性を持ち、防腐・防蟻性能に優れた特性をもつため、1960年代半ばから日本でも電柱、家屋の土台、エクステリアなどに使用されてきた。CCA 防腐処理材の使用から40年以上を経ており、今後廃棄物としてCCA 防腐処理材の増加が予想されている。CCA 防腐処理材の処理法の検討や再利用における安全性を確保するには、CCA 防腐処理材に注入されているCr、Cu、Asの濃度分布を把握することが重要である。こうしたことから、本共同研究ではCCA 防腐処理材の表層部から中心部に至るCr、Cu、Asの濃度分布をMicroPIXEにより測定し、Cr、Cu、Asの浸透および定着状況を、元素マップとSTIM (Scanning Transmission Ion Microscope) イメージで検討を行った。Cr、Cu、Asとも表面から芯部になるにしたがって、濃度低下の傾向が見られた。また、芯部までCr、Cu、Asが浸透していることが確認された。

続いて、前島裕介氏（神奈川大学工学部）等により、「スギ花粉表面への汚染物質の吸着」と題する講演が行われた。近年、大量に飛散するようになったスギ花粉のために花粉症患者が急激に増加し、わが国特有の春に引き起こされる疾患として問題となっている。その飛散数は都市部より山間部の方が多いにもかかわらず、花粉症患者は都市部でより多いという調査結果が報告されている。このことは、大気汚染物質が花粉症の症状を増悪させるとともに、花粉の再飛散を促進する都市環境等が、花粉症の発症を助長している可能性を示唆している。これまでに、花粉はその表面に人為起源と思われる大気汚染粒子やガス成分を付着させていることがわかっているが、その吸着挙動や汚染された花粉のアレルギー性との関連には不明瞭な点が多い。本共同研究では大気中の花粉を採取し、飛散量の支配要因の検討とSEM-EDXによる花粉の表面分析を行うとともに、より高感度分析が可能なm-PIXE分析による花粉表面付着物の詳細な解析と、その汚染が及ぼすスギ花粉アレルギーへの影響について検討した。飛散花粉表面における元素付着量とスギ花粉アレ

ルゲンの関係を調べた結果、都市部において飛散する花粉は、エアロゾルを含む大気汚染物質との相互作用により、花粉の表面特性を変えるとともに、Cry j 1を微小粒子に移行させることにより、花粉症の発症を促進させている可能性が考えられた。

続いて、大村至氏（順天堂大学医学部物理学教室）等により、「頭髪の微量元素定量と異同分析 - 特に頭髪成分のばらつきと洗浄効果 -」と題する講演が行われた。人体の頭髪には有機物由来の繊維の中に、各種の軽元素から重元素まで含まれており、体内に取り込まれた物質をよく反映している。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あり、実際に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、鉱山での有機水銀中毒、環境ホルモン等の微量に存在する重金属元素など、有機物に含まれる様々な元素の体内取り込み量の評価に用いられている。これらの結果は個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る。本共同研究では、頭髪の微量元素定量を病理学に適用する前に、頭髪の個人差がどの程度あるのかを調べるため、同一人物か異なった人物かを区別する異同分析の応用に焦点を絞って研究を進めており、病理学応用の基礎を作るため、1本の頭髪からどの程度の微量元素分析と個人識別が可能か、PIXE分析実験を開始している。報告会においては、試料洗浄法による分析結果のばらつきや、頭髪の基本構成元素である硫黄を内部標準として他の含有元素量を規格化した、新たな定量分析手法について発表がなされた。

続いて、武田志乃氏（放射線防護研究センター）等により、「腎臓における元素分布」と題する講演が行われた。レアメタルと他の元素との合金はこれまでにない性能や機能を有することから、近年レアメタルの産業利用が増大し、採掘による環境負荷やレアメタル製品の投棄による環境汚染を通して生体影響が懸念されている。しかしながら、体内挙動・代謝は十分に理解されておらず、安全性に資する科学的根拠は乏しい。そこで、このようなタイプのレアメタルのうち、放射線防護上の重要核種（ストロンチウム、テルル、セシウム、ウラン等）および組織移行性の高いレアメタル（ルビジウム、カドミウム等）について、SR-XRFにおける至適検出条件を検討した結果と、酢酸ウランをばく露したラット腎臓におけるウラン分布について報告がなされた。その一方で、この高いエネルギー領域のSR-XRFにおいては、同時に軽元素の分布を取得することが困難なことから、SR-XRFとマイク

ロPIXEを組み合わせ、同一試料からルビジウムと生体必須元素の分布を取得して、両者を対応させることによりルビジウムの腎臓分布を検討した。これらの結果から、SR-XRFは一部の組織中レアメタルの分析に有効であると考えられ、またSR-XRFとマイクロPIXEとの組み合わせは、レアメタルと生体必須元素との分布の類似性の解析に有益な手法であることがわかった。

最後に、小西輝明氏（研究基盤技術部放射線発生装置利用技術開発課）等により、「マイクロビーム細胞照射装置SPICEの現状」と題する講演が行われた。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として注目を浴びている。一般的な、ブロードビームを用いた照射実験では、粒子が細胞などにヒットする確率がポアソン分布に従うため、特に低フルエンス照射では個々の細胞への放射線量に対する生物効果を厳密には評価できず、確率的影響評価にとどまっていた。しかしマイクロビーム細胞照射装置は、直径数 μm 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る装置であり、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る。そして、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放射線誘発バイスタンダー効果の研究において最も有効なツールである。現在のSPICEにおける技術開発と利用状況について、以下の項目に分けて報告がなされた。

1) ビームサイズ

100 μm 厚の固体飛跡検出器 CR-39 (TD-1、フクビ) を用いてビームサイズの評価を行った。図1は、10 μm 間隔で各箇所にて20個のプロトン照射し、200 $\mu\text{m} \times 40 \mu\text{m}$ の領域にSPICEの5文字を描いた結果である(図1)。このように直径5 μm 以下のマイクロビーム形成が定期的にてできており、最小ビーム径2 μm 程度のマイクロビーム形成にも成功している。

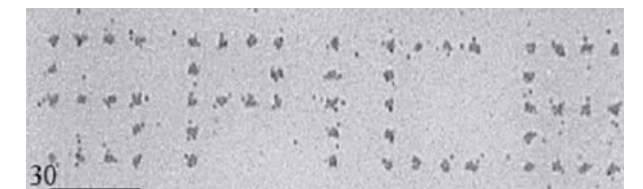


図1: CR-39上に描画した「SPICE」の5文字

2) 細胞を用いたデモンストレーション

細胞核をヘキスト 33258 で蛍光染色し、これを高感度 CCD カメラにて撮像し、得られた画像の蛍光を頼りに細胞皿中の細胞位置を決定する (図2)。現在 SPICE では、約 3 mm 角の領域にいるすべての細胞の位置情報を自動かつ高速に得ることができ、さらにこの位置情報をもとに、任意の粒子数を設定し、照射することが可能となっており、現在 1 秒間に 6~8 細胞を照射する (1 時間あたり約 2 万細胞) 高速性を実現している。次に、細胞に確実に照射されているかを確認するために、CR-39 を用いた細胞像・ビーム同時検出法を用いて確認した (図3)。こ



図2: すべての細胞核を楕円フィットし、座標位置抽出している様子

れら以外に、DNA 二本鎖切断の指標として γ -H2AX を免疫蛍光染色して、細胞核を狙い撃ちできているかを確認している。

SPICE は共用実験施設として稼動を開始し、平成 21 年度は利用研究課題数の増加が見込まれている。今後は、ビーム提供時間の拡大のために、ビーム輸送・調整の効率化に関わる技術開発を進め、さらにマイクロビームを応用した放射線生物影響研究も推進していく予定である。

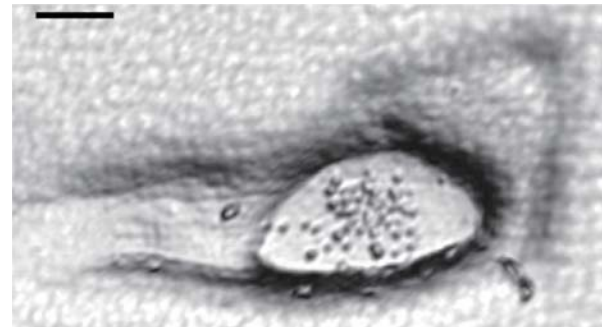


図3: 細胞核 (像) 中にヒットしたプロトン500個のエッチピット



写真3: パネルディスカッションの様子

パネルディスカッション「PASTA&SPICEの未来について」

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、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る。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た。そこで今回は、新しい試みとして、会場の全員が討論に参加できるようにパネルディスカッションとして、川崎克則氏 (東京工業大学)、及び武田志乃氏 (放射線防護研究センター) の両氏をパネラーにお願いし、PIXE 分析に関わる日頃の疑問、特に定量化のための試料調製法や、装置側に対する要望等について活発に議論が行われた (写真3)。今後の運営や技術開発の方向性が明確となった、非常に有意義な討論会になった。

おわりに

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。また、PIXE 分析やマイクロビーム細胞照射装置に関わる様々な技術開発を推進し、研究者の要望に応えるよう努力してまいります。今後とも厳しくも暖かい叱咤激励を御願います。

なお本稿は、筆者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。内容等に誤りがあれば、全て筆者の責任です。本報告会の抄録集は、「第4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。

第2回共同施設 (PASTA&SPICE) 共同研究成果報告会

- 第3回静電加速器利用ワークショップ -
プログラム

平成 21 年 3 月 18 日 放射線医学総合研究所重粒子治療推進棟 2 階 大会議室
13:30 ~ 17:10 (口頭発表は 12 分、質疑応答 3 分)

開会の挨拶	基盤技術センター長 日下部 正志		
セッション1 (座長:長谷川 純崇)	0-1	PASTAにおける技術開発の現状	及川将一、石川剛弘、磯浩之、樋口有一、小西輝昭、北村尚、酢屋徳啓、今関等 (放医研・研究基盤技術部)
	0-2	白金含有DDS化抗がん剤の細胞内分布解析に関する研究	水野和恵 ¹ 、遊佐訓孝 ¹ 、小西輝昭 ² 、及川将一 ² 、石川剛弘 ² 、磯浩之 ² 、樋口有一 ² 、今関等 ² 、上坂充 ¹ (1.東京大学大学院 2.放医研 研究基盤技術部)
	0-3	micro-PIXEを用いた淡水・海水飼育イトウの硬組織ストロンチウム分析	鈴木享子、吉富友恭 (東京学芸大学)
	0-4	水質指標生物イシマキガイを用いた微量元素分析モニタリング手法に関する基礎研究	伊藤雅紀、吉富友恭 (東京学芸大学)
	0-5	PIXEによるメダカ移植腫瘍の微量元素マッピングの試み	長谷川純崇 ¹ 、丸山耕一 ² 、竹中光 ¹ 、古川高子 ¹ 、佐賀恒夫 ¹ 、磯浩之 ² 、及川将一 ³ 、今関等 ³ (1放医研・分子イメージングセンター、2放医研・放射線防護研究センター、3放医研・研究基盤技術部)
セッション2 (座長:武田 志乃)	0-6	CCA防腐処理材のCr、Cu、Asの濃度分布	斉藤勝美 ^{1,2} 、磯浩之 ² 、石川剛弘 ² 、今関等 ² (1秋田県健康環境センター、2放医研・研究基盤技術部)
	0-7	スギ花粉表面への汚染物質の吸着	前島裕介 ¹ 、石川剛弘 ² 、小西輝昭 ² 、濱野毅 ² 、今関等 ² 、中村紀雄 ³ 、石井康一郎 ⁴ 、井川学 ¹ (1神奈川大学、2放医研・研究基盤技術部、3横浜市立大学、4東京都環境科学研究所)
	0-8	頭髮の微量元素定量と異同比較 -特に頭髮の成分ばらつきと洗浄効果-	大村至 ¹ 、堀川弥太郎 ¹ 、小岩義典 ² (1順天堂大学、2千葉大学大学院)
	0-9	腎臓における元素分布	武田志乃 ¹ 、磯浩之 ² 、石川剛弘 ² 、及川将一 ² 、小西輝昭 ² 、今関等 ² 、島田義也 ¹ (1放医研・放射線防護研究センター、2放医研・研究基盤技術部)
0-10	マイクロビーム細胞照射装置の現状	小西輝昭、及川将一、石川剛弘、磯浩之、樋口有一、児玉久美子、安田仲宏、酢屋徳啓、今関等 (放医研・研究基盤技術部)	
パネル ディスカッション	テーマ:「PASTA&SPICEの未来について」 パネラー:川崎 克則 (東京工業大学)、武田 志乃 (放射線防護研究センター) 進行役:今関 等		
閉会の挨拶	研究基盤技術部長 今関 等		



第2回共用施設 (PASTA&SPICE) 共同研究成果報告会ポスター

企画部 人材育成・交流課 国際係 係員
安東 裕世



図1: IAEA本部外観

1.はじめに

2009年2月8日～15日にかけて筆者は、遠藤企画部長、取越物理学部放射システム開発室長のオーストリアとドイツ出張に随行しました。この出張は国際原子力機関（IAEA）本部でコラボレーションセンターの継続に向けた話し合いを行うことを第一の目的、GSI (Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH、重イオン研究所) およびハイデルベルク大学とMOU (Memorandum of Understanding、研究協力に関する覚書) の締結に向けた打ち合わせを行うことを第二の目的とするものでした。それぞれの訪問先での印象を以下に述べたいと思います。

2. IAEA本部訪問

2月8日にウィーンに到着し、用務初日の2月9日はIAEA本部を訪問しました(図1)。

PACT (Programm of Action for Cancer Therapy Office) の課長である Samiei 氏と Department of Nuclear Safety and Security の事務局次長である谷口富裕氏を表敬訪問するとともに、Department of Nuclear Science and Application の事務局次長 Burkart 氏、Applied Radiation Biology and Radiotherapy Section の課長 Salminen 氏らとコラボレーションセンターの継続に向けた会談を行い、密度の濃い1日となりました。

Samiei 氏との会談では、HIMAC (Heavy Ion Medical

Accelerator in Chiba) を中心に放医研の国際展開について説明するとともに、発展途上国の医師等が自国でトレーニングを受けることのできる eラーニングシステム “Virtual University for Cancer Control” の構想など PACT の活動について説明を受けました。

次の谷口氏との会談では、被ばく医療のアジアネットワーク形成など緊急被ばく医療研究センターの活動を中心に、放医研の国際展開を説明しました。谷口次長からは放医研と IAEA との関係強化の方法の1つとして、放医研側が費用を負担する cost free expert として出向し、経験を積んで公募ポストに応募し正式職員となることなど具体的なアドバイスをいただきました。

Burkart 氏との会談でも、HIMAC を中心に放医研の国際展開について説明しました。1月末に放医研が提出した IAEA コラボレーションセンターの最終レポートについてよい評価を得ることができ、またコラボレーションセンターを継続したいという放医研側の希望に対しても、前向きに評価しているとの回答があったので出張者一同安堵しました。

Salminen 氏との会談では、放医研のコラボレーション



図2: サイバースドルフ研究所の入口にて
(左から島田グループリーダー、取越室長、米沢氏、遠藤部長)



図3: サイバースドルフ研究所育種部門の温室を見学

センターとしての活動を説明するために同行した島田発達期被ばく影響研究グループリーダーが、これまでの成果と次期の展望についてプレゼンし、より専門的な討論を行いました。また、10月頃に放医研で開催予定の低線量影響に関するシンポジウムへお招きしたいと伝えたところ、前向きな回答を得ることができました。

3. IAEAサイバースドルフ研究所見学

2月10日の午前は、IAEAのサイバースドルフ研究所 (The Seibersdorf Laboratories) を見学しました(図2,3)。各部門の担当者から説明を受けながら、育種部門、昆虫学部門、査察部門、農業化学部門を見学しました。筆者は普段放医研で仕事をしていても実験室に入る機会はほとんどないため、何もかもが珍しく、植物の培養室やハエを飼育しているところなどを興味深く見学しました。

4. ウィーン代表部訪問

2月10日の午後はウィーン国際機関政府代表部を表敬訪問しました。天野之弥大使にお会いし、まず遠藤部長から9日のIAEA本部訪問の成果を説明しました。天野大使からは、サウジアラビアでの放射線治療施設の建設計画についてお話があったほか、ガーナへの支援についても意見交換しました。

5. GSI訪問

2月11日に遠藤部長、取越室長とともにウィーンからハイデルベルクへ移動しました(図4)。2月12日はまずダルムシュタットのGSIを訪問し、Biophysics Divisionの部長である Marco Durante 氏とMOUの締結に向けて話し合いを行いました。放医研の提示した案に基本的に同意していただいたので、調印の日程はできるだけ早い時期とする



図4: GSIにて(左から筆者、遠藤部長)

ことや、調印式は行わずサインした文書を郵送で交換すること、調印者、連絡担当者などについて打合せをしました。

Durante 氏との会談の後、GSI の日本人職員である齋藤奈美氏にご案内いただき、施設を見学しました。日頃は自分が外国人の見学者をご案内する側なので、説明パネルに英語表記のものとドイツ語表記のもの両方があり、どちらにするかは各部署に任されているという話や、GSI の職員に見学者と同じ国の人がいる場合はその人が案内することが多いという話などを興味深く感じました。

6.ハイデルベルク大学訪問

2月12日の午後はハイデルベルク大学病院を訪問しました。ハイデルベルク大学病院放射線腫瘍学部門教授の Jürgen Debus 氏、粒子線治療施設 (Heidelberg Ion-Beam Therapy Centre、略称 HIT) 教授の Thomas Haberer 氏と、GSI の場合と同様に MOU の締結に向けて話し合いを行いました。まず協定を締結する方向で進めることを確認し、調印者や連絡担当者などについて打合せをしました。調印については HIT の開所式典に合わせて放医研から理事長がハイデルベルク大学を訪問し調印式を行うことを提案させていただきました。

7.ハイデルベルク大学病院見学

2月13日は再度ハイデルベルク大学病院を訪問し、HIT 教授の Oliver Jäkel 氏にご案内いただき治療施設を見学しました (図5)。筆者には技術的なことはまるで分かりませんが、廊下の壁などに木目の素材を多用していることや天井がとても高く広々とした造りであるこ



図5:HITにて(左から2番目が説明者のOliver Jäkel教授)

と、そしてガントリーの大きさが印象に残りました。この見学が今回の出張での最後の用務となりました。

8.おわりに

今回の出張は、最初に話を聞いてから出発まで1カ月足らずと準備期間が短く、国内出張すらしたことのない筆者にとっては緊張の連続でした。しかし、この出張を通じて、これまで遠い存在だった国際機関・外国機関を身近に感じるようになったのは、大きな収穫だと思います。また、自分が担当している業務だけにとどまらず放医研の国際活動全体に関心を持ち、知識を身につけていくことの大切さを改めて感じる機会ともなりました。この経験を今後の業務に役立てることができればと思います。

謝辞

今回の出張では IAEA 等訪問でご対応くださった今井礼子氏、藤元憲三氏、米沢伸一郎氏を始め、多くの方々にお世話になりました。心より御礼申し上げます。



雨のドイツ・ハイデルベルグ街並み

SR Salon Photograph

Asia's world city HONG KONG



Cathay Pacific Airways Asia's world city Boeing747-400(B-HOY) 成田空港にて

香港は、古くから東南アジアにおける交通の要所であり、また、金融や流通の要所であることは有名である。さらにショッピングや食通の町としても有名であり、かねてからの海外旅行ブームで世界中から観光客が集まる場所でもある。香港に観光旅行した人も多いのではないだろうか。

現在、香港と日本を結ぶ路線は多数あり、複数の航空会社が運航されているが、その代表は、香港を本拠地 (ハブ) 空港とするキャセイパシフィック航空である。日本路線は5路線であり、日本発の格安パック旅行もあいまってどの路線も非常に高い利用率となっているようである。

2001年に、香港をもっと世界にアピールすべく、Asia's world city (アジアにおける世界都市) というプログラムが開始されたことを記念して、香港を代表するキャセイパシフィック航空は、その記念塗装を特別塗装機として登場させた。

機材は当時世界中で活躍していた長距離国際線用機材のボーイング747-400である。当時は日本路線もボーイング747-400が主力だったこともあり、それほど長距離便ではないものの、この機体もよく飛来した。

塗装は上品さが感じられるもので、私のお気に入りの機体の一つである。ちなみに現在は通常の塗装に戻され運航されており、この特別塗装は、現在の主力機ボーイング777-300ERに塗装されている。

企画部企画課 三井正紀



随想 閨秀作家矢田津世子 市川龍資

太平洋戦争が終った直後の昭和21年頃だったと思う。野村先生という若いドイツ語の先生からハンス・カロッサの「ルーマニア日記」という作品を教科書にしてドイツ語を教わっていたことがあった。ちょうど正月明けの日、野村先生は、この正月はこたつに入って新しく入手したハンス・カロッサの「美しき惑いの年」(Das Jahr der schöne Teuschungen)というドイツ語の原著を読んだといわれ少し内容話を話してくれた。

ハンス・カロッサの作品は、自伝的小説がほとんどなので、この小説も彼がミュンヘン大学医学部の学生だった時の思い出が中心になっている。彼は詩や文学が好きで、閨秀詩人と二人で旅をして廻ったことが述べられていた。ぼく達は、自分達の学校生活と比べて、ドイツの学生はずい分ひまがあり、楽しく過せるのだと知って大層うらやましく思ったことを覚えている。この時、野村先生から聞いた閨秀詩人という名称が、ぼく達には単に女性の詩人という呼び方よりはるかにロマンチックな感覚を与えるいいかたであることに気付いた。

現在は、小説家に男性女性の区別は殆ど無くなっている。女性の宇宙飛行士が日本でも現われる時代である。文学作品もその作者が男性か女性かは殆ど違いを感じさせない時代になっている。しかし歴史を振り返ってみると、昭和の中頃くらいまでは、女流作家、閨秀作家という呼び方が存在していた。女性の生き方が男性の生き方と違ってこと柄を中心にして繊細な心情を表現した作品が女性によって書かれていた。閨秀作家という呼び方が大層似合う人として矢田津世子という人がいた。この人は作品のみならず、その容貌も閨秀作家という呼び方がぴったりの人だった。彼女は長身で、目鼻立ちも美しく、色も白い秋田美人で、その心も濁りのない誠実な人だったと伝えられている。ぼくはもちろん本人を見たことはないが、写真でみるとまことに魅力的な顔をした女性である。そして彼女は胸を病んでいた。1944年(昭和19年)3月すなわち終戦の前年永眠した。37歳という若さだった。

この美人の閨秀作家に恋したのが、戦後野獣派と呼ばれ

た作家の一人、坂口安吾だった。二人はかなり親しく付き合った時期もあったが、安吾の恋はついに実らなかった。

矢田津世子は短命であったから、残念ながら作品は多く残していない。各種文学全集にも収録されていないから、この名を知っている人も少なくなった。「神楽坂」「茶粥の記」などの好短篇を書いている。

彼女がロシア文学者湯浅芳子と親交があったため、警察署に連行され留置所生活を強いられた。彼女の肺結核は、これによってかなり悪化してしまった。戦前および戦時中の警察の左翼に対する取締りがいかに非道なものであったかは、「蟹工船」を書いた小林多喜二が取調べによって虐殺されたことで、よく知られている。彼女はこのことで、湯浅芳子との友人関係を断ってしまったほどである。

身体を弱らせてしまった彼女は、作家活動も短くなり、彼女の創作は僅かなものとなってしまった。僅かに残った彼女の短篇集の末尾に、彼女の年表が付いていて、ほんの少しであるが彼女の生涯の一部が断片的にうかがえる。ぼくが注目したのは、1941年(昭和16年)の部分にある記載内容だった。それによると、彼女はこの年13歳年下の一高生T・H氏と知り合い、7月16日から甥の武藤次郎とT・H氏とともに信州、直江津、秋田、青森を旅したと書かれていた。彼女はこの頃34歳だった。

この記録は、ぼくにハンス・カロッサが医学生時代閨秀詩人と旅をしたことを思い出させた。閨秀作家矢田津世子と旅行を楽しんだ一高生T・Hとは一体誰だろうか気にかかった。実名を示さず、アルファベットのイニシャルで書かれていることが秘密めいて興味をそそった。この年表の編集者の名は高橋秀晴と記されているので、この名はT・Hに対応するかと思ったが、一高同窓会名簿にはこの名前は発見できなかった。閨秀作家矢田津世子と旅したのは誰だったのかと今もぼくは気になっている。

ICHIKAWA RYUSHI(元放医研科学研究官)



所内工事のため正面玄関(花壇)に移植されたヒバの木

編集後記

5月になり初夏のような大変気持ちの良い陽が続いていますが、読者の皆様、お変わりないでしょうか。いつも当研究所が編集・発行する機関誌「放射線科学」をご愛読頂きありがとうございます。

今月号は、所外の機関の方にご寄稿をお願いいたしまして[最近の成果]として「第五福竜丸事件と放射線教育への取り組み」について掲載いたしました。1954年(昭和29年)3月に起こった本出来事については、私達の研究所が設立される切っ掛けとなりましたが、今回の原稿をご執筆くださった著者が所属される研究施設の前身についても、本出来事が契機になり設立されています。最近、本誌に掲載いたしました「第五福竜丸」に関連します記事としましては、2編(放医研緊急被ばく医療研究センター長 明石真言著:2007年10月号、24-29頁および2008年2月号、4-16頁)がありますので、併せてご一読願えればと思います。今回の記事は、本出来事と放射線教育への取り組みについて新たな視点からまとめられており記録としても貴重であり、また興味ある内容になっていますので是非お読みいただければと思います。

以上の記事の他、4編を掲載することができましたので、今月号も充実した内容となりました。編集に携わった一人として嬉しく思います。

今後ともご愛読頂きますようよろしくお願いいたします。(MO)

次号予告

特集 放医研
基盤技術センター
「第4回技術と安全の
報告会」

編集委員会

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

放射線科学

第52巻 第5号

2009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 千葉市稲毛区穴川4-9-1
電話 043(206) 3026 Fax.043(206) 4062 Eメール info@nirs.go.jp
本誌 URL:http://www.nirs.go.jp/info/report/rs-sci/index.shtml
(禁無断転載)



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