

東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター



No. 54 2013. 12 東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター

巻頭言

「エミッション CT」時代からの遺言

センター放射線管理研究部・研究教授
前放医研分子イメージング研究センター・センター長
菅野 巖

1970-80年代は PET も SPECT も区別なく「エミッション CT」と呼んでいた。X線 CTを「トランスミッション CT」と呼んで X線の形態陰影の「撮影」を意味していたのに対し、「エミッション CT」は生体機能の「計測」であると認識していた。ここでは「エミッション CT」時代から断層装置開発に関わった立場から昨今の核医学イメージングについて思うことを述べたい。

1970年に工学部電気工学科を卒業して大学紛争に嫌気して、「脳への好奇心」から選んだ秋田脳研で、核医学との最初の関わりは ^{133}Xe クリアランス曲線から脳血流量を計算することであった。ガンマ線検出器で側頭部から測定された ^{133}Xe 内頸動脈投与の脳クリアランス曲線の膨大な紙テープのデジタルデータを高速リーダーで読み込んでから、 ^{133}Xe 洗出し率の指数関数を計算するだけであったが、放射線計測の統計変動を含んだデータから対数変換後に最小自乗法による指数勾配の計算を、現在の電卓以下の能力の電子計算機でよく計算できたと感心する。数学出身の三浦佑子研究員と手分けしてフォートランのプログラムを組んだ。ガンマ線検出器は最初6チャンネルであったが、それが16チャンネル、さらに14行21列の

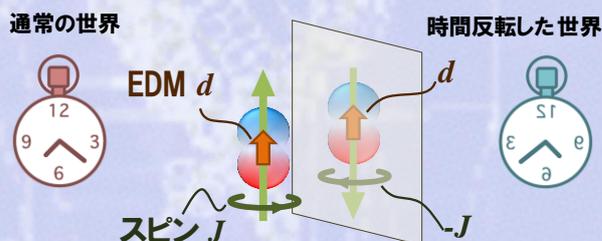


図1. EDMが存在すれば、時間反転対称性が破れていることを意味する。(研究紹介、本文6ページ)

オートフルオロスコープになるに従い、検出器あたりの測定単位領域は 5 cm、2 cm、1 cm と細かくなっていった。しかし、研究者の欲望は常にエンドレスであり、こんどは脳血流量を側頭部だけでなく脳深部まで見たいとエスカレートしていった。

当時は時間を持て余していたのか、身の程知らずだったのか、1972年に X 線 CT が報告されると、当然 RI の断層撮影も可能だろうと挑戦する気になった。1 次元投影からの 2 次元平面の復元という今では常識の画像再構成理論の勉強から始めることになった。そんな時、たまたま外国留学の話がありビザ申請の健康診断で病気が発覚し約半年間入院生活を強いられたが、それがちょうど充電期間になりこの半年間に病室に持ち込んだ文献から当時の画像再構成理論や実際のエミッション CT を理解することができた。現場に復帰すると、早速、頭部サイズのファントムを一定角度で回転する回転台に乗せて前述のオートフルオロスコープというガンマカメラの前で回転させるファントム実験を始めた。意外とすんなり RI 分布断層像が得られた。続いて、人用として歯科用のイスを改造して一定角度ずつ回転し、サンプリング間隔補間のための平行移動台に乗せて、オートフルオロスコープの前で患者が回転するスキャン装置ができた。 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ で脳腫瘍患者の BBB 透過断層像という本邦で初めての臨床 RI 断層像が測定できた瞬間である。

その後、半年間のデンマーク留学から帰国し、現地のグループが ^{133}Xe のダイナミック断層装置を開発していたのに刺激され秋田の我々でも作れると確信して上司の上村和夫先生を説得し本格的な断層装置の設計にとりかかった。その時上村先生と相談したのはせっかく作るのなら世界で初めての装置にしようということで、 ^{133}Xe のダイナミック SPECT 測定は必須だが PET も可能なハイブリッド断層装置になった。当時、全く無名の田舎の秋田脳研に協力してくれたのは (株) 島津製作所であった。島津は検出器とガントリー、秋田脳研はデータ収集用のインターフェイスとソフトウェアという役割分担をした。電気出身の三浦修一研究員とインターフェイス等を設計して 1978 年秋から約 1 年間の突貫工事だった。二人とも電気を卒業したとはいえ電子回路設計などの教育も経験も全くなく、今思えば「盲蛇に怖じず」の状態だったが、放医研の田中栄一先生グループの富谷先生達のアドバイスも受けて何とか完成できた。装置は Hybrid Emission Advanced Dynamic Tomograph の頭文字から Headtome と命名した。同じ頃、放医研と日立グループは国産初の PET 装置 Positologica を完成していた。

これらのハードの開発時期は画像を作るのが精一杯で「定量性」ということに拘泥する余裕はなかった。しかし、80 年代の PET 時代になり脳機能を測定する段階になると放射能濃度の測定の定量性を痛感した。最初の洗礼は ^{15}O 標識ガスの定常吸入法であった。これは半減期 2 分の ^{15}O 標識ガスを持続吸入し、 ^{15}O の脳組織への供給と流出と半減期減衰の平衡状態から血流代謝を計算する方法であるが、この方法では脳内放射濃度 1% の測定誤差が 2~3% の脳血流量誤差として跳ね返り、体内放射能分布の定量的測定が必須であった。特に、脳卒中後の追跡測定では測定値の再現性は必須であった。また、マルチセンター研究などでは異なる装置間でも同じ条件ならば同じ測定値が得られることが重要であり、いつどの装置で測っても同じ測定値が得られる「定量性」が PET 測定の根幹であることを痛感するようになった。

翻って、最近マーケットに出回っている PET 装置は腫瘍陽性像を見逃さないことに最適化されていて定量性が疎かになっていると言われて久しい。分解能は半値幅 3~4 mm と良くなり、検出器の

校正などが自動化されるようになってきているのか見た目の画像の S/N は隔世の感があり、最近の PET/CT 装置はデジカメのようにきれいな画像を短時間で撮影できることに注力しているように見える。このこと自身は感度や分解能等の PET の基本性能が向上した結果で歓迎することであるが、問題はきれいな画像を得るために PSF 処理などの化粧を施し放射能濃度と測定画像との 1 対 1 の線形性が保証されてないと聞く。PET の本来の役割は体内のトレーサー分布を再現性良く計測することである。この簡単で明快な役割を最新の PET/CT (あるいは、PET/MR) 装置は忘れかけているという危惧が杞憂であることを願っている。最近、学会で個々の発表に意見することは少なくなったが、かつては定量性が疑われる PET 発表には常に苦言を言ってきた。PET の興隆期に「定量、定量とガミガミ言うと PET ユーザーを減らす」から発言するなど圧力を掛けられた時期もあった。しかし、「エミッション CT」からどんなに時代が変わっても、PET の本質は形態的「撮影」ではなく定量的「計測」であることには変わりはないのである。



阿部笙子先生作

CYRIC ニュース No. 54 目 次

• 巻頭言			
「エミッション CT」時代からの遺言			
	センター放射線管理研究部・研究教授	菅野 巖	1
• 研究紹介			
フランシウム原子を利用した時間反転対称性の破れの研究			
	センター 測定器研究部・助教	川村 広和	5
• トピックス			
戦艦「陸奥」鉄材による“バックグラウンド放射線”遮蔽の効果			
	東北大学名誉教授	織原 彦之丞	9
• 六ヶ所村便り			
工学研究科量子エネルギー工学専攻 六ヶ所村分室・准教授		人見 啓太郎	15
• 研究交流			
イタリア・シエナ大学での研究生生活			
	センター 測定器研究部・修士1年	加藤 浩	
	学部4年	青木 隆宏	16
• センターからのお知らせ			18
□ 篠塚 勉准教授最終講義			
□ 東北経済連合会見学			
□ 化学グランプリ 2013 見学会			
□ 宮城県立仙台第一高校見学			
□ センター外部評価の実施			
□ 運営専門委員会報告			
□ 六ヶ所村分室の工学研究科への移管			
□ 平成 25 年度放射性同位元素等取扱施設安全管理担当教職員研修			
□ 放射線と RI の安全取扱いに関する全学講習会			
□ センター防災訓練			
□ 研究棟改修工事			
□ 東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター共同利用実験第 34 回研究報告会			
• RI 管理メモ			29
• 人事異動			30
• 組織図・共同利用相談窓口			31
• 編集後記			32

研究紹介

フランシウム原子を利用した時間反転対称性の破れの研究

センター 測定器研究部・助教
川村 広和

この度、泉萩会奨励賞を受賞致しました。泉萩会とは、東北大学理学部・理学研究科の中でも物理系の卒業生や在校生・教員から成る同窓会で、物理科学の分野において特色があり将来性に富む業績を上げた若手研究者を表彰することを目的として平成 21 年度から泉萩会奨励賞が設けられました。そのような名誉ある賞を戴きましたので、この機会に受賞理由の中心になった研究テーマと、それを推進している測定器研究部の紹介をさせていただきます。

時間反転対称性の破れ

受賞することになった業績は「時間反転対称性破れの探索のためのレーザー冷却不安定原子生成工場の開発」です。測定器研究部では、酒見教授の下で、時間反転対称性の破れを探索する研究を進めています。「時間反転」とは、物理法則における時間の符号を反転する操作のことであり、ビデオカメラで撮影した動画を逆再生して観測することに相当します。我々人間が生活している様子を逆再生すると明らかにそうと分かり、時間反転する前後で区別することができますが、素粒子の世界では時間反転しても区別できない＝対称性が成立するとされています。最近、素粒子標準模型において最後の未発見だったヒッグス粒子が発見され、ノーベル物理学賞が贈られたことでも話題になりましたが、確かに標準模型の枠内では時間反転対称性は成立しています。その一方で、宇宙誕生時にはちょうど同じ数だけ生成された粒子と反粒子が、何らかの原因で反粒子だけが無くなり、粒子だけが残って現在のような宇宙の姿を創るためには、対称性は破れていなければならないとされています。2008 年にノーベル物理学賞を受賞する理由になった小林・益川理論は、その対称性の破れの原因を説明するものですが、実はごく一部しか説明が付かず、さらに根源的な理論が必要になると考えられています。時間反転対称性の破れの探索は、標準模型では説明ができない未知の現象の発見を目指した研究です。

時間反転対称性の破れは、様々なところで発現する可能性があります。その中でも観測実現性が最も高いとされるものが、素粒子がもつ電気双極子能率(electric dipole moment, EDM と呼ばれる)の研究です。EDM とは、ある近い距離に存在する正負の電荷対の間に生じるベクトル量のことです。電磁気学の講義では必ず登場する概念です。この性質を素粒子が備えていたとすると、あたかも素粒子が内部構造をもっているかのように見え、それは時間反転対称性を破っていることになります。一般に、素粒子はスピンと呼ばれる物理量をもっていますが、これは角運動量であるので時間反転の下でその符号を反転します。しかし、EDM は負電荷から正電荷に向かうベクトルなので時間反転してもその向きを変えることはありません。従って、スピンと EDM を備える素粒子という系で見たときに、時間反転前後で不一致が起き、対称性を破ることになります。図 1 (1 ページ参照) 素粒子が備える EDM の発見を目指して、半世紀以上、世界中で多くの研究者らが様々な手法をもって精度を改善しながら取り組んできています。

レーザー冷却不安定原子生成工場

測定器研究部では、フランシウム原子を利用した電子 EDM の探索を目指して研究が進められています。常磁性原子において、不対電子の EDM 効果は相対論効果によって大きく増幅され、原子の

EDM として観測でき得るとされています。原子の陽子数が大きいほど増幅効果も大きくなるため、原子番号最大のアルカリ原子であるフランシウム(**Fr**) に注目しています。**Fr** は、次に大きなアルカリ原子であるセシウムに比べて 10 倍も増幅効果が大いと言われてはいますが、安定元素であるセシウムに対して **Fr** は安定同位体をもたない放射性元素です。この困難は、サイクロトロン加速器を利用して大強度の **Fr** を人工的に生成し、さらにレーザー冷却技術を適用することでマイクロケルビンオーダーという超極低温の原子集団を生成することにより克服できると期待されます。そのために建設しているのが、「レーザー冷却不安定原子生成工場」です。

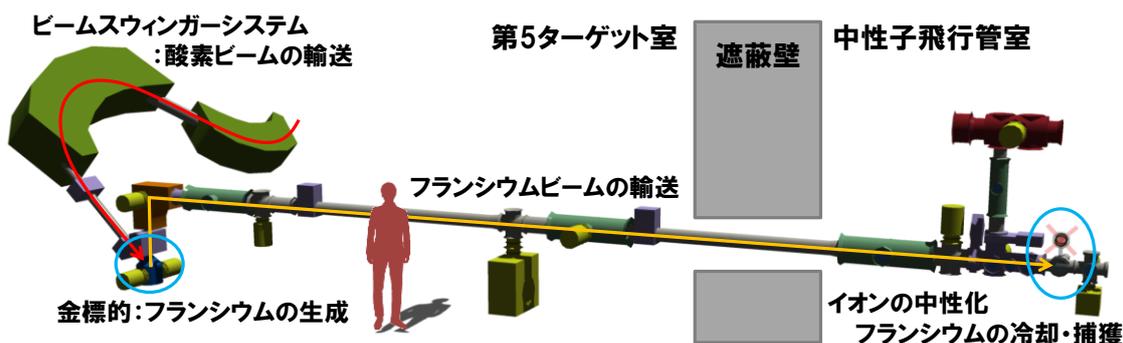


図 2. レーザー冷却不安定原子生成工場の現在の姿 (模式図)。全長 10 メートルを超える。今後、さらなる改良や EDM 測定系が新たに組み込まれることになる。

レーザー冷却不安定原子生成工場は、サイクロトロン実験棟第 5 ターゲット室 51 コースを利用して開発を行ってきました (図 2)。工場は、**Fr** を生成する表面イオン化器、機器を核反応による放射線から保護するためにイオンを別室まで輸送するビーム輸送系、レーザー冷却を適用できるようにするためにイオンから原子に変換する中性化器、中性原子をレーザー冷却技術の活用により捕獲する磁気光学トラップ装置から構成されます。表面イオン化器内部では酸素ビームと金標的との核融合反応によって **Fr** が生成されますが、これまでに、ビームスウィンガーシステムによる立体的なビーム輸送と融解するまで加熱した金標的を組み合わせ、大強度の **Fr** を引き出すという国際的にもユニークな手法を実現しています (図 3)。そして、生成した **Fr** イオンを第 5 ターゲット室に隣接した中性子

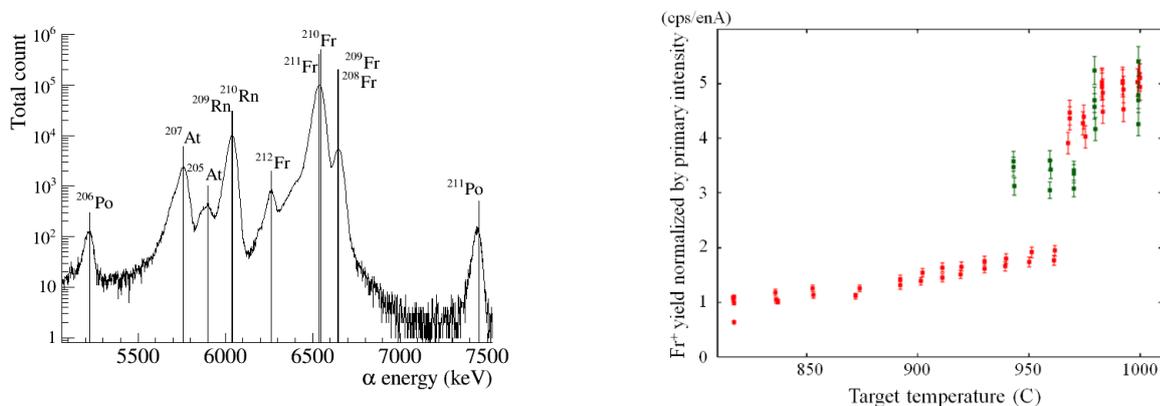


図 3. (左) 酸素と金の融合反応によって生じる不安定核のアルファ線スペクトル。顕著に **Fr** を生成できているのが確認できる。(右) **Fr** 収量の金標的の温度依存性。金が融解した温度で収量が劇的に増加している。

飛行管室まで静電場によって輸送し、イットリウム標的との表面中性化過程を利用して中性原子に変換することまで成功しています。さらに Fr と化学的性質がよく似たルビジウムを用いたテスト実験では、イオンから変換した中性原子を磁気光学トラップで捕獲するところまで達成しています(図4)。このようなイオンビーム由来の原子を捕獲できる施設は海外でも限られており、日本国内では CYRIC にあるものが唯一です。

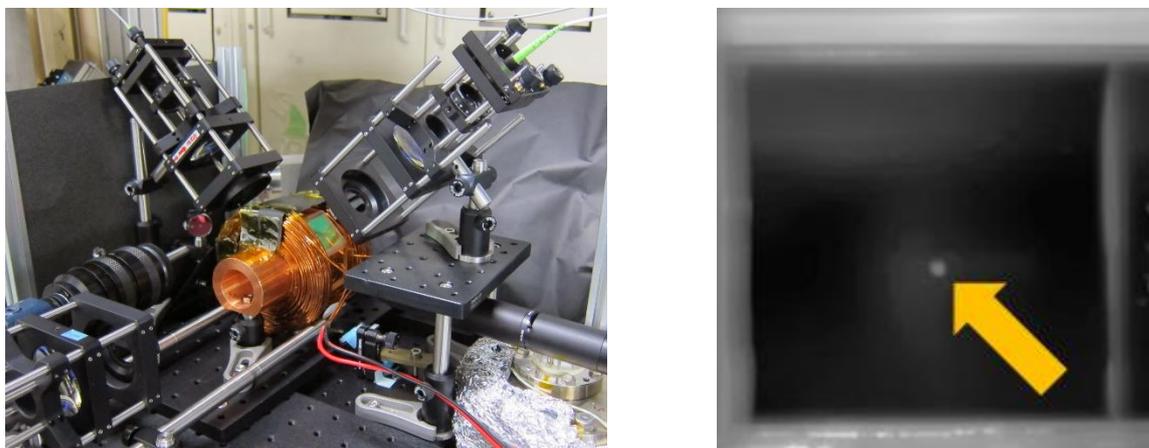


図4. (左) 磁気光学トラップ装置周辺の写真。(右) 磁気光学トラップによってレーザー冷却・捕獲された原子の様子。捕獲された原子集団が発する蛍光を捉えたもの。

この施設は「工場」と呼んでいるだけあって、とても個人で開発や維持管理ができるものではありません。大強度の Fr 生成のためには大強度の酸素ビームが不可欠であり、これは CYRIC マシニンググループのスタッフの方々の尽力あってこそそのものです。また、このビームコースは、 CYRIC の元センター長である織原名誉教授が、核子移行反応による核構造研究のために建設された、全国でもユニークなビームスウィンガーシステムと中性子飛行管室を利用しています。織原元センター長をはじめ、センターで活動されてきた研究者の方々が開発してきた装置を活用させていただき、 Fr ビームラインとして生まれ変わりました。生成した Fr の輸送・中性化・捕獲はそれぞれが独立した研究課題になり得るもので、測定器研究部のスタッフ・学生全員が役割分担しながら一丸となって開発を進めています。学外にも共同研究者の方々が大量にいらっしゃいます。そうした活動の中で適宜段階的に発表している成果が評価されて今回の受賞につながりましたが、決して私一人の力によるものではなく、研究グループ全員の成果であることに間違いありません。

まとめと展望

実際に、放射性元素であるフランシウムの磁気光学トラップに成功することで、本工場は一応の完成を迎えますが、絶えず改良を続けてその性能を向上することが求められます。何より、本来の目的である電子 EDM を探索するためには、 Fr の EDM を測定するための全く新しい実験装置を製作・実装する必要があります。現在既にルビジウムを使ったテスト実験の計画を進めています。この研究は数年前から始められましたが、ついにこの段階に至ったと言えます。レーザー冷却・捕獲された不安定原子というものは、極めて精密な実験を行うのに最適な実験サンプルであり、電子 EDM 探索だけでなく、原子核物理学や素粒子物理学、あるいはそれに留まらない広範な分野にとって研究対象となる可能性を秘めています。本工場は完成後、 CYRIC の共同利用設備のひとつとして開放することを計画していますので、興味をおもちの方は是非ご連絡ください。

この研究は測定器研究部のメンバー、および青木貴稔氏、古川武氏、畠山温氏、畑中吉治氏、今井憲一氏、村上哲也氏、佐藤智哉氏、清水康弘氏、若狭智嗣氏、吉田英智氏らによる共同研究です。オンライン実験では CYRIC マシニンググループのスタッフの尽力によって良質のビーム供給をしていただいています。最後に、泉萩会奨励賞受賞にあたって、本賞の選考委員並びに関係者の皆様方に御礼申し上げます。有難うございました。

トピックス

戦艦「陸奥」鉄材による“バックグラウンド放射線”遮蔽の効果

東北大学名誉教授
織原彦之丞

今年 2013 年の 7 月末のこと、ご無沙汰の馬場 護先生から mail がありました。日本アイソトープ協会（RI 協会）からの依頼で、戦艦「陸奥の鉄材」を放射線遮蔽に使った事例が東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンターにあったら教えてくださいとのご用件でした。そのことについては、今から 35 年も前の昭和 47 年ころ、初代センター加速器研究部教授をなさっていた藤岡 學先生が、 ^{163}Ho 核の電子捕獲ベータ崩壊の Q-値の精密測定からニュートリノの質量を求める研究を目指し、x-線測定の為の極低バックグラウンド環境を作る目的で、戦前のコバルト-60 を混入していない戦艦「陸奥の鉄材」を 3 トンほど手に入れてバックグラウンド放射線遮蔽用の鉄箱を造って研究を完成させた旨回答し、現在は私が預かっていると RI 協会にお知らせしました。8 月に入って RI 協会に問い合わせを最初にした NHK 広島放送局から連絡があって、「NHK 広島放送局では、70 年前に瀬戸内海に沈没した旧海軍の戦艦「陸奥」が 1970 年代に引き上げられ、その鉄材が遮蔽材として今に生きている事実を、今年 8 月の終戦の時期にあわせて特集などの形で放送したいと考えています」と云うことでした。この藤岡先生の研究は「 ^{163}Ho の製造とニュートリノ質量の測定」というものであり、当時の高エネルギー物理学研究所との共同研究で、東北大学で行った実験に関する報告は CYRIC Annual Report にあります。

私の陸奥鉄とのこれまでの付き合いは購入時と、それから 4 半世紀が経過して私が東北大学を定年退官し東北工業大学に勤め始めた平成 17 年頃になります。経済産業省総合資源エネルギー調査会廃棄物小委員会において、商用原子力発電所廃止措置にかかる廃棄物にクリアランス省令（平成 17 年 12 月 1 日施行）を適用する制度制定に関わる議論に必要な、コンクリートのユーロピウム放射化に関するデータを収集する為に、バックグラウンド放射線遮蔽用として「戦艦陸奥の鉄箱」を東北工業大学に運び極低バックグラウンド環境を作る為に使いました。

1. 核施設廃止措置にかかる放射性廃棄建造物のクリアランスレベル検認のためのデータ収集

1966 年に営業運転を開始した日本初の商業用東海原子力発電所の廃炉措置の出発を目前に原子力発電所などから出される廃棄物を対象にして、放射性廃棄物として扱う必要のないレベルを“クリアランスレベル”と設定し、これ以下の放射化濃度を持つ廃棄物を放射線安全管理から除外する法律が平成 17 年に施行されました²⁾。原子力施設の建屋建造物の 90%以上の大きな部分を構成するコンクリートの放射化は、測定と計算によって検認することとしています。従って、この法律の定着のためにはクリアランスレベルを検認するための放射線検出システムの開発が不可欠ですが、同時に実測が困難な対象物については計算による検認が行われることになっているため、中性子による放射化断面積をはじめとする高精度のデータベースの構築が急務でありました。特に、希土類元素ユーロピウム (Eu) は地殻 1 kg に 2 mg 程度含まれ、かつ、 ^{151}Eu は核構造的に球形の形状因子を持ち、S-波の熱中性子捕獲断面積が特に大なる元素であり、更に半減期が核施設の廃止措置の期間に重なる 13.542 年となって

いる点でも重視され、これらの核種に対するクリアランスレベルは 0.2 Bq/g とされています。今様の言い方をすれば、コンクリートをクリアランスレベル以下として放射性廃棄物から産業廃棄物として放射線管理の枠外とすることができるユーロピウムに関する必要条件が 200 Bq/kg 以下の放射化であるということです。

加速器施設のコンクリート内の Eu の放射化については本センターの報告も評価されていますが^{3,4)}、コンクリートに極微量含まれるユーロピウム元素が問題になる理由は、同位体が 151 と 153 であり、同位体比がほぼ同じで前者が 47.82% 、後者が 52.18% であって、さらに熱中性子捕獲断面積が $18,000$ バーンと 500 バーンであり、きわめて大である為です⁵⁾。これらの捕獲断面積は *Jendl* のデータですが、他のデータベースの値と必ずしも一致せず、特に $^{153}\text{Eu}(n, \gamma)^{154}\text{Eu}$ の値には大きなばらつきがデータベースの間であり、この値を精度よく出すには濃縮 ^{153}Eu を標的にした実験ではなく、天然ユーロピウムを標的にして、図 1 に示されるように $^{151}\text{Eu}(n, \gamma)^{152}\text{Eu}$ と $^{153}\text{Eu}(n, \gamma)^{154}\text{Eu}$ 双方の反応を生成します。そして、極低バックグラウンドで 1 keV 以下の高分解能ガンマ線分光を行って、図 1 に示される娘核の ^{152}Sm における 121.78 keV ガンマ線強度と ^{154}Gd における 123.07 keV 遷移強度を求めて、目的を達成する必要がありました。

この極低バックグラウンドのガンマ線測定環境の形成に本文の主役である「戦艦陸奥の鉄箱」が使われ大きな役割を果たしました。下の図 2 にはこの鉄箱の写真が挿入されています。鉄の重量は 3 トンで、箱の内矩は $91 \text{ cm} \times 91 \text{ cm}$ で深さは 110 cm です。また鉄板の厚さは $6 \text{ cm} \sim 7 \text{ cm}$ です。右の写真にみられるように、冷却用液体窒素 30 l ジャーを装備した半導体検出器をすっぽり格納する事が可能です。

この極低バックグラウンドのガンマ線測定環境の形成に本文の主役である「戦艦陸奥の鉄箱」が使われ大きな役割を果たしました。下の図 2 にはこの鉄箱の写真が挿入されています。鉄の重量は 3 トンで、箱の内矩は $91 \text{ cm} \times 91 \text{ cm}$ で深さは 110 cm です。また鉄板の厚さは $6 \text{ cm} \sim 7 \text{ cm}$ です。右の写真にみられるように、冷却用液体窒素 30 l ジャーを装備した半導体検出器をすっぽり格納する事が可能です。

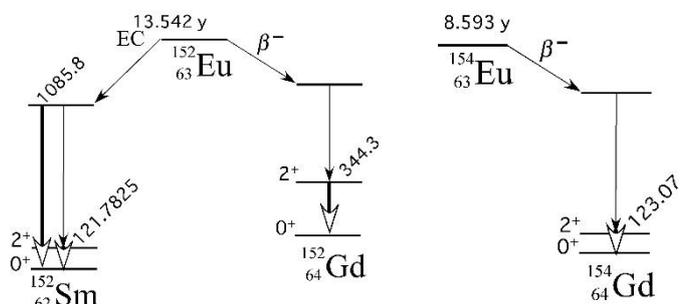


図 1. ^{152}Eu (半減期: 13.542 y) と ^{154}Eu (半減期: 8.5932 y) の崩壊図。 ^{152}Eu 核は全電子捕獲ベータ崩壊 71.88% (内 21.73% は 1085.8 keV) 状態經由で ^{152}Sm 核へ、また 27.86% の分岐比で ^{154}Gd 核にベータ崩壊をします。



図 2. 戦艦陸奥の鉄箱。外形と内部。

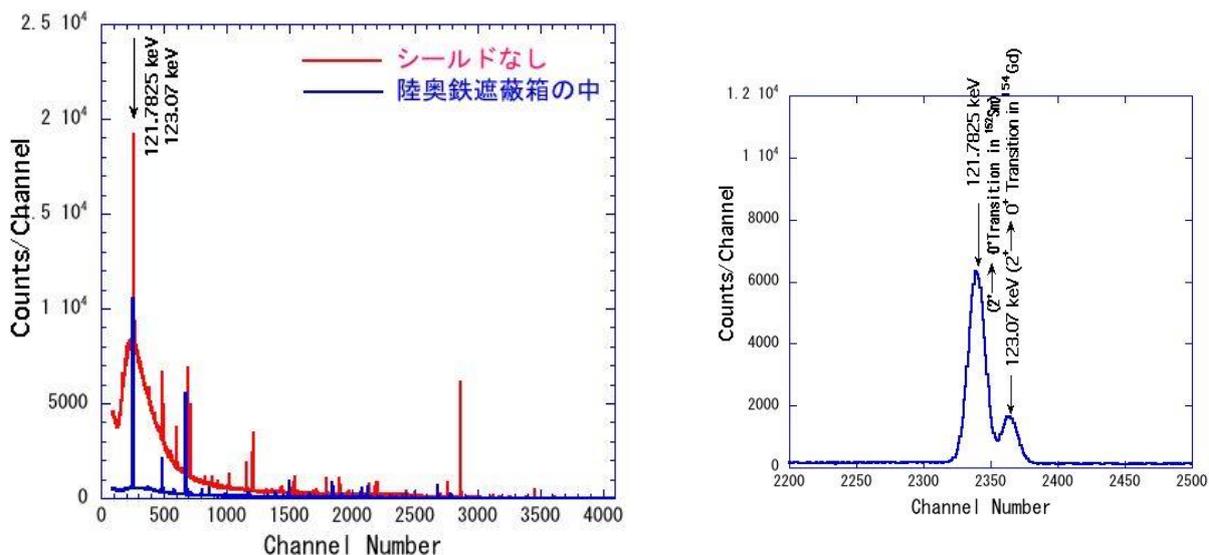


図3. ユーロピウム放射化サンプルからのガンマ線スペクトル。右のスペクトルは $E_\gamma=120$ keV 近傍を拡大し、図1にある ^{152}Sm 核における 121.7825 keV 遷移のガンマ線と、 ^{154}Gd 核における 123.07 keV 遷移のガンマ線遷移の分離を示しています。

測定したデータをみてみましょう。図3は中性子捕獲で放射化された自然濃縮酸化ユーロピウム試料1グラムからのガンマ線をゲルマニウム半導体検出器で測定したスペクトルです。熱中性子による放射化は、センターで陽電子断層撮影装置 (PET) による核医学診断を行うためのポジトロン放出核種製造と一緒に、数十バックレルのサンプルをつくりました。図3の左の図は、遮蔽なしで測定したスペクトル (赤い線) と、陸奥鉄遮蔽箱の中にゲルマニウム半導体検出器とサンプルを入れて測定したスペクトル (青い線) を比較したもので、遮蔽効果は抜群です。特に 100 keV 付近のコプトン散乱効果の重なりがなくなる大きなバックグラウンドが見事に無くなって、コプトン抑制装置付ガンマ線分光器に引けをとらない結果となっています。

中性子捕獲反応断面積を求めるためには、図1に示されているスピンパリティ (2+) の第1励起状態から基底状態 (0+) に脱励起する電気四重極遷移を観測します。低エネルギー領域にあり、右の拡大測定のスペクトルに示されるように 1.8 keV しか離れていない二つのピークが陸奥鉄箱の優れた遮蔽効果のおかげで極低バックグラウンド環境の中で二つのピークとして分離され、 $^{151}\text{Eu}(n,\gamma)^{152}\text{Eu}$ と $^{153}\text{Eu}(n,\gamma)^{154}\text{Eu}$ の中性子捕獲断面積の比が 0.076 であると結論づけられ⁶⁾、核施設廃止措置にかかる放射性廃棄建造物のクリアランスレベル検認のためのデータとして計算精度をあげることができました。

2. ストロンチウム (^{90}Sr) からのベータ線の検出-陸奥鉄遮蔽箱の新たな役割

戦艦「陸奥」鉄材との3番目のお付き合いは、広島放送局の取材目的とも一致する「放射線・放射能が震災復旧・復興の妨げにならないように」という私達の願いに関わることで、以下に述べますように戦艦陸奥の鉄材による放射線遮蔽の真骨頂を示すものです。東日本巨大地震に引き続く福島第一原子力発電所の事故を目の当たりにし、核エネルギーの解放という人類の歴史の中で輝く事業の一端を担ってきた核物理学の研究に携わってきたもの一人として、我が国における未曾有の原子力災害と云えるセシウム、ストロンチウム放射能汚染による社会不安を払拭し、健康被害を軽減化するために、核物理学研究者が果たすべき役割を自覚し、自然放射能の 1/100 を目指す極微量放射能のサーベ

イを可能とする高精度の γ 線並びに β 線検出器の開発も我々の努めであると考えます。幸いにして、この趣旨に沿ったベータ線検出器の開発のための予算が平成25年度～平成27年度科学研究費助成事業「基盤研究(B)」で認められました。運搬費用の見通しも立って東北工業大学長町キャンパスに置いてあった陸奥鉄箱も、広島放送局の取材申し入れを機に再びセンターに持ち帰ることができた次第です。

平成24年4月1日より施行された放射性セシウムに関する規制は、一般食品については、 <100 Bq/kg ですが、乳幼児食品・牛乳・飲料水については更に ~ 10 倍近く厳しいものとなっています。この規制値の精神は、平常時の年間被曝量の1 mSv を事故時にも当てはめようとするもので、測定値の精度を如何に担保するかが問われるところです。この100 Bq/kg と云うレベルは、仙台市で2年前の3月11日以来掘り返していない表土の ^{137}Cs 放射能レベル ~ 200 Bq/kg (空間線量: $0.02 \mu\text{Sv/hr}$ 相当) と同レベルで、色々な自然放射線量の1/10位です。少なくとも「食品基準値以下です」と云う答えを出す為には基準値の1/4、すなわち <25 Bq/kg と云う“測定下限値”が要求され、きちんとした測定は容易なことではありません。更に、セシウム134,137によるベータ線被曝についてはガンマ線の測定から算出できますが、ガンマ線を出さないストロンチウムによるベータ線被曝については専ら文科省策定のマニュアルに沿った放射化学的手法によるものです。特に、漁業と我々の食生活に深刻な影響を与える魚介類が含むストロンチウムの測定をどうするかが焦眉の急です。

図4にイラストされている科学研究費助成事業の研究目的のベータ線検出器について述べます。 β 線は、多数のバックグラウンドガンマ線と混在していますので、まずベータ線とガンマ線を区別する β - γ 弁別型の検出器にする必要があります。この2種類の放射線の性質の違いは物質との相互作用の強さです。放射性核種から放射されるガンマ線は1 MeV程度でコピー用紙程度の厚さのプラスチックに対しても十分に相互作用をして発光し通過した痕跡を残し、1 cm程度のプラスチックを通過する間に全エネルギーを失いエネルギーに見合った光を放出します。図4にあるように25平方センチメートルの大口径の入射窓を有し、数十 μm 厚のプラスチック検出器をベータ線検出トリガーに使い、20 mm厚のプラスチックによる発光で β 線の全エネルギーを測定するという β - γ 弁別型ベータ線検出器を開発します。このように検出器の大型化をはかり、陸奥鉄遮蔽箱の低バックグラウンド環境を利用して極微小の $^{134,137}\text{Cs}$ からの β 線の寄与を明らかにして、ベータ線しか放出しない ^{90}Sr による放射能汚染の有無を国の基準の“測定下限値” <10 Bq/kg”の精度で判定することを目指しています。

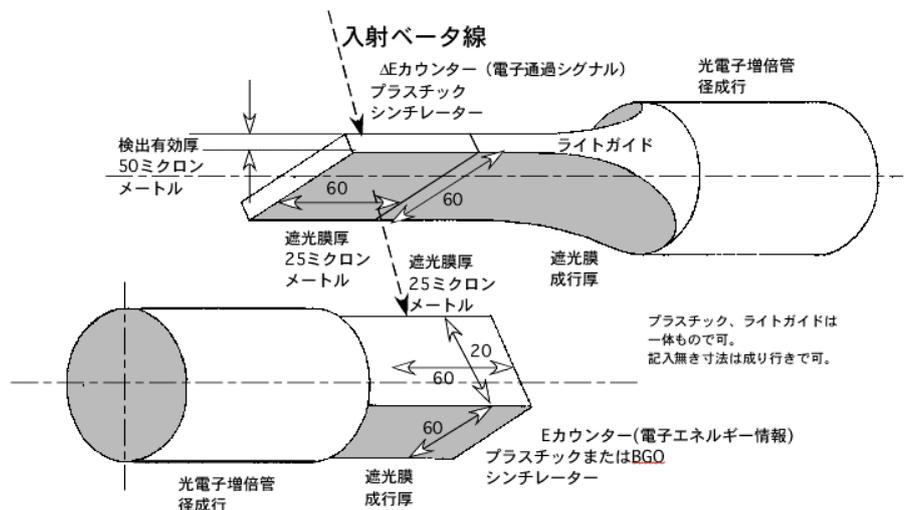


図4. β - γ 弁別型ベータ線検出器の模式図

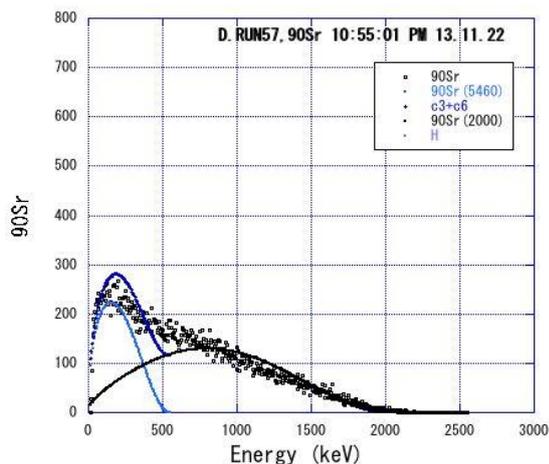


図 5 (a). ベータ崩壊 $^{90}\text{Sr} \rightarrow ^{90}\text{Y} \rightarrow ^{90}\text{Zr}$ のベータ線スペクトル

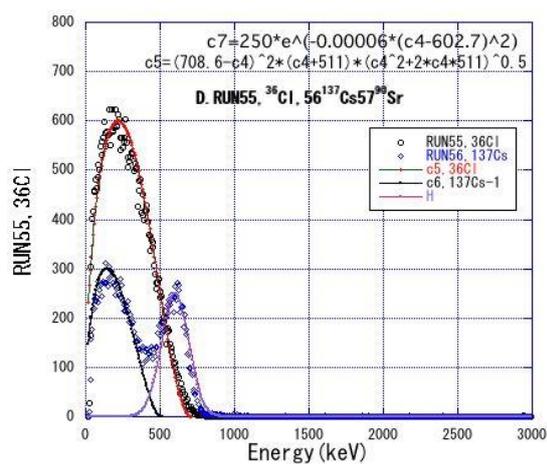


図 5 (b). ベータ崩壊 $^{137}\text{Cs} \rightarrow ^{137}\text{Ba}$ ならびに ^{36}Cl のベータ線スペクトル。 ^{137}Ba における内部変換電子のラインスペクトルは測定値に合わせたガウスフィット。

平成 25 年度は、既存のプロトタイプの検出器 η を使い予備的な測定をしました。図 5 は、 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 並びに ^{134}Cs の代わりに ^{36}Cl 標準線源からの β 線のエネルギースペクトルです。図中のラインは、核構造等に関係な電子の運動量分布の位相空間をエネルギーに変換したものです。

実際に 1 kg 当たり数百 Bq の放射性核種を含む土壌の中に含まれるストロンチウム (^{90}Sr) の量を定量化することを考えてみます。まず対象物から放出されるガンマ線を精度良く測定し、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs の含有量を定量化しておき、しかる後本研究で開発した β 線検出器で測定した β 線スペクトルを、第 5 図に示す ^{90}Sr と、定量化された ^{134}Cs 、 ^{137}Cs の含有量に基づく β 線スペクトルでアンホールドし、未知の ^{90}Sr の含有量をもとめることとします。現状では精度の点で思考実験の域を出ませんが、このようにして導き出したストロンチウムのスペクトルの一例を図 6 に掲げます。

図 6 は ~ 1000 Bq/kg の放射性物質 0.0002 kg を対象として 2 昼夜測定し、同じ時間サンプル無しの測定を行い、これをバックグラウンドとして差し引いた β 線スペクトルです。注意すべきは 0.0002 kg というサンプル量です。先に述べましたように、 β 線はたとえ 2 MeV 程の高エネルギーでもその土壌中の飛程は 1~2 mm であるため、自己吸収をさける為には 1 度に測定できるサンプル量はこの

程度になります。この Bq/0.0002 kg の結果を 5000 倍して Bq/kg に換算することになりますから、高い測定精度と長い測定時間を要する訳です。

最後にストロンチウム汚染の導出に必要なセシウム汚染量の推定のためのガンマ線測定について述べます。簡便で、ある程度のエネルギー分解能を有するガンマ線検出器を購入しました。この検出器は図 7 (a)に見られる PC のキーボードの上に置いてある kromek GR-1 ガンマ線分光器システムで、1 cm³ のカドミウム-テルル結晶をガンマ線検出器とし、直流電源、前置-線形増幅器並びにアナログ-デジタル変換機を含む電子回路一式を内蔵しパーソナル計算機へ USB 接続して 4 K チャンネル

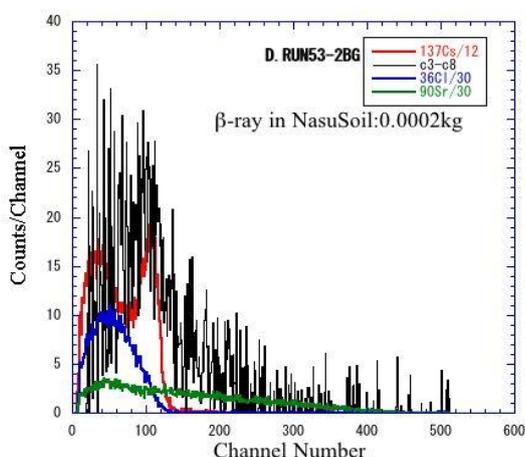


図 6. ~ 1000 Bq/kg の放射性物質 0.0002 kg を対象として測定したサンプルの β 線スペクトル

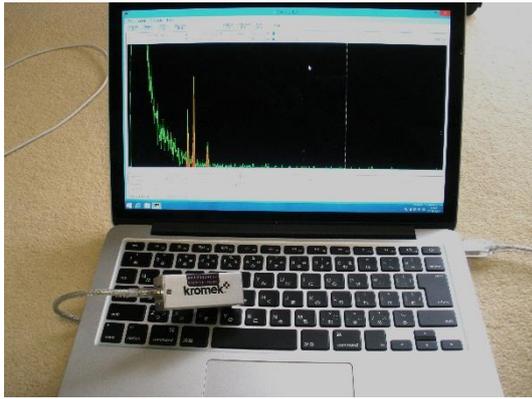


図 7(a) 仙台市屋外環境放射線測定

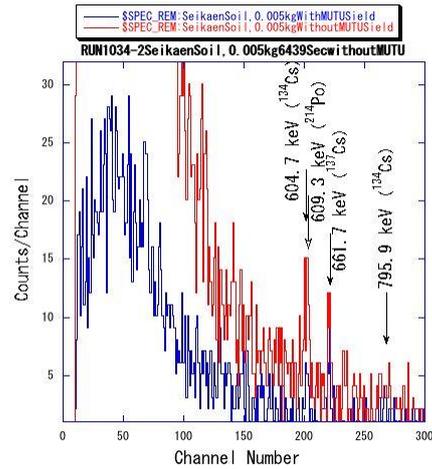


図 7(b) 仙台市土壌。0.005 kg 放射線測定

の波高分析ができる 25 mm x 25 mm x 65 mm サイズの優れたもので、エネルギー分解能は 662 keV ガンマ線に対し 2.5%です。写真の PC のディスプレイには、仙台市のどこの土壌でも 20 分位の測定時間でみられるセシウム-134、137 のピークが観測されるスペクトルを示します。

右の図 7(b)は、定量性を確保するため 0.005 kg の土壌サンプルを測定対象にしています。この場合もサンプルサイズが小さいため、空中に常に存在する ^{238}U を起原とし ^{206}Pb を終点とするウラン系列の途中の ^{214}Po における 609.3 keV ガンマ線が障害になり、青色のヒストグラムに示されるような陸奥鉄遮蔽箱の中での測定が必要になります。

学内共同教育研究施設の本センターの役割は、世界的に見てユニークで優れた装置なり方法論を開発・保持し、センター職員が一級の研究教育をして、一方で大学の学部・研究科の教育の下支えをしっかりと行なうことと考えます。ここで取り上げた戦艦「陸奥」の鉄箱も、1 立方メートルの極低バックグラウンド放射能の空間を提供してささやか乍らセンターの役に立つ事ができればと願っています。

(後記：広島放送局の取材による放映は、終戦記念日の 8 月 15 日 “NHK ニュースおはよう日本” でなされました)

参考文献

- 1) Radiation Produced by the Electron Capture Decay of the ^{163}Ho Radioisotope, Motoki T., Ishii K., Sera K., Fujioka M., and Ishimatsu CYRIC Ann. Rep., (1984)
- 2) 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律の一部を改正する法律案関係資料、経済産業省、文部科学省、国土交通省、第 162 回通常国会
- 3) サイクロトロン建屋コンクリートの放射化測定、木村健一、石川敏夫、山寺 亮、中村尚司、RADIOISOTOPE, Vol. 41, 213-217(1992)
- 4) 原子炉の廃炉にからんだ放射化の問題、大越 実、RADIOISOTOPES, Vol. 47, 412-423(1998)
- 5) JENDL-3.2, LAERI (1997)
- 6) High-Resolution Measurements for Gamma-Rays from Thermal-Neutron Capture by ^{151}Eu and ^{153}Eu , Orihara H., Sato Y., and Umeda K., CYRIC Ann. Rep., (2007)
- 7) Low Background Beta-ray Spectrometer Based on a Counter Telescope with Plastic Scintillation Detector Orihara H., Yamamoto M., Satoh Y., and Umeda K., CYRIC Ann. Rep., (2008)

六ヶ所村便り

工学研究科量子エネルギー工学専攻 六ヶ所村分室・准教授
人見 啓太郎

平成25年10月より六ヶ所村分室は工学研究科量子エネルギー工学専攻内に移行いたしました(センターからのお知らせ参照)。サイクロトロン・ラジオアイソトープセンターの皆様には分室の立ち上げ時から多大なるご協力をいただきました。皆様に深く感謝いたします。今後とも引き続きご支援、ご鞭撻を賜りますようお願いいたします。また、六ヶ所村便りもこれまでと変わらず継続いたしますのでよろしくお願いいたします。

さて、いよいよ六ヶ所村に冬が到来しました。先日は青森で11月前半としては32年ぶりの大雪が降りました。六ヶ所村分室も大雪に見舞われ、一瞬にして車が雪に埋もれました(写真1)。

雪が降り、冬到来となると、六ヶ所名産の長芋も収穫時期で大忙しです。今まで見たことのないような大きな重機で、長芋を掘る光景を村のあちこちで見ることができます(写真2)。この時期はトラクターの移動のため六ヶ所の追い越し禁止の道路は一年で一番渋滞します。この時期は長芋だけではなく、大根やニンジンも収穫時期で、たまに道路に落ちていてびっくりします。

この長芋は六ヶ所村でおいしく食べることもできますが、六ヶ所の名酒、「六趣」の原料ともなっています。「六趣」とは六ヶ所産の長芋を原料にした本格長芋焼酎です。「六趣」には通常品のレギュラーと樽の中で熟成させたスペシャルの2種類があります。プレミアムが付くほどの「六趣スペシャル」は、通常販売はしておらず、抽選販売となります。毎回申し込んでも当たらないくらいの高倍率です。

長芋の収穫のシーズンも本番となると、六ヶ所村尾駮地区の尾駮沼には白鳥が飛来し始めます。冬も深くなると多数の白鳥が飛来し、六ヶ所村の住民は白鳥の鳴き声で朝目覚めることができます。湖の上で泳いでいる白鳥は優雅ですが(写真3)、近くで見ると案外でかくて怖いです(写真4)。

このCYRICニュースが発行される頃には雪が積もるようになります。これから長い六ヶ所の冬が始まります。



写真1. 六ヶ所村分室前駐車場



写真2. 長芋掘りの様子(六ヶ所村)



写真3. 尾駮沼を泳ぐ白鳥



写真4. 近くまで来た白鳥

研究交流

イタリア・シエナ大学での研究生生活

センター 測定器研究部・修士1年 加藤 浩
学部4年 青木 隆宏

私たちは9月23日から11月30日の約2ヶ月に及び、イタリアのトスカーナ州のシエナにあるシエナ大学に留学してきました。この都市はフィレンツェの南にあり、私たちの1年前に同研究室の学生が留学したフェラーラと同様のルネッサンスの中心都市でした。また、中世の町並みを残すその姿は”シエナ歴史地区”として世界遺産にも登録されています。その町並みは日本ではなかなか見ることができない美しいレンガ作りの建物が並ぶ中世のヨーロッパの雰囲気を残す素晴らしいものでした。

今回私たちが留学したシエナ大学は、今年になって初めて東北大学との間で協定が結ばれました。今までに何度か数日間の短い訪問はありましたが、2ヶ月間の長期にわたって測定器研究部の学生が留学するのは初めてになります。

留学の間私たちは3つの実験を行って来ました。まず1つ目は、レニャーロ国立研究所(LNL)に行き、アルカリ原子の中で質量が最大であるFr原子を用いた磁気光学トラップ実験に参加しました。2つ目は、ガラスセルに変わり金属セルを使ったアルカリ原子であるRbの磁気光学トラップを行う実験を行いました。そして3つ目にガラス表面に吸着したRb原子をレーザーを使ってガラス表面から脱離させる光誘起脱離の実験を行いました。これらの実験は、私たちの測定器研究部が目標にしているFr原子の永久電気双極子能率(EDM)の測定を試みるにあたって必要となる技術です。特にFr原子の磁気光学トラップの実験は本研究室でまさに挑戦し始めた段階ですが、EDMを測定する為にも早急に成功させなくてはならない事であり、レニャーロで行われる実験に参加しその技術を学んでくる事は非常に重要です。また、金属セルを用いたRb原子の



シエナにあるマンジャの塔から撮影したカンポ広場

トラップ実験は、LNLでのFrトラップ実験に使うセルをガラスセルから金属チェンバーに変える為の先行実験として行われました。これは、金属セルとガラスセルでFrをトラップするにあたり、どちらの方が有利なのかを調べる為であり、現時点ではどちらも一長一短でありどちらのセルの方がトラップに有利なのかを調べる事は、測定器研究部で現在開発している金属チェンバー方式が最適かを判断するためにも重要になってきます。また、光誘起脱離の実験はガラス表面に吸着してトラップできなくなった原子に光を当てることで脱離させ、再度トラップが可能にする技術でありFrトラップを助ける技術として期待されています。これらの技術を学ぶために私たちはシエナへの留学を決意致しました。

留学中に行った主な実験は前述した通りで金属セルを使ったRbトラップ実験の立ち上げと光誘起脱離の研究はシエナ大学のEmilio Mariotti教授の研究室で行い、留学中に何度かレニャーロ国立研究所に向いFrトラップ実験に参加しました。

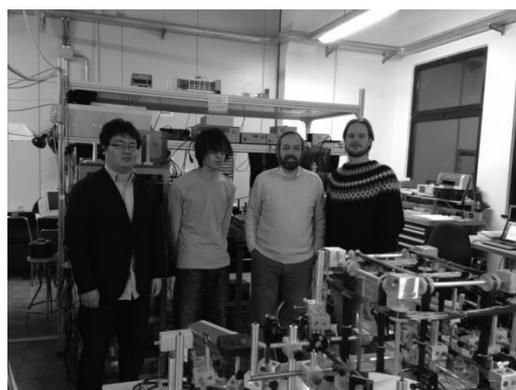
シエナでの実験は主に私たちと現地の学生 1 名で進めました。最初のころは 2 人とも英語に不自由し、何度となく言われたことを聞き返していましたが Mariotti 教授も現地の学生の Stein さんも根気強くわかるまで教えてくれたのが印象的でした。その熱心な指導の成果もあり、光誘起脱離実験は必要なデータを取り終え無事に終えることができました。金属チェンバーでのトラップ実験は残念ながら実験まで至ることはできませんでしたが、レーザー冷却に必要な光学システムは組み終わりトラップまでは目前となっています。帰国後の測定器研究部の研究を行う上で必要となる情報と技術を持ち帰ることができたため満足できる結果であると思います。

レニャーロ国立研究所はシエナから車で 4~5 時間ほどの距離でした。Fr トラップ実験は加速器の運転計画の都合があり、年に数回しかできませんが私たちの留学中にそのうちの 1 回があり、タイミングよく実験に参加できました。結果的には Fr を生成するのに必要なビーム量が得られなかったためビームタイムは中止になってしまいましたが、Rb を使ったオフライン実験の時に光誘起脱離を実際の実験で応用するときのノウハウを学ぶ事ができました。自分の研究室で光誘起脱離をどのように応用すればよいか、その道筋が見えたので得難い経験になったと思います。

シエナでの留学を通して日本では味わうことのできない経験を得ることができ、研究の面についても大きなヒントを持ち帰ることができました。このようなチャンスを与えてくださった酒見教授や Mariotti 教授、そして東北大学の学内留学プログラム・COLABS のサポートに心から感謝致します。



イタリア



研究室で記念撮影

センターからのお知らせ

[篠塚 勉准教授最終講義]

6月28日（金）に、平成25年3月末をもってサイクロトロン・ラジオアイソトープセンターを定年退職されました篠塚勉准教授の最終講義が、研究棟2階講義室において行われました。

篠塚先生は、昭和52年12月にサイクロトロン・ラジオアイソトープセンターに助手として着任、平成12年1月に同准教授に就任され、36年間にわたり研究・教育に従事されました。最終講義では、「サイクロトロンと不安定核」と題し、東北大学のサイクロトロンの歴史と、オンライン同位体質量分離装置を用いたこれまでの研究についてお話をいただきました。講演の後半には、「精密測定」と「超重元素」をキーワードに不安定核研究の今後の課題を示され、それを実現するアイデアが披露されました。さらに、「サイクロトロンの大強度化」をキーワードにサイクロトロンを中性子源として発展させるご自身の考えを解説頂きました。最終講義には、センターをはじめとする学内の現役職員・学生のほか、卒業生や職員OBなど、多くの方々が集まりました。最終講義終了後には、卒業生の代表から感謝の意を込めて花束が手渡されました。サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター発足直後から、センターの発展と共同利用の推進にご尽力いただいた篠塚先生に感謝いたします。



最終講義と花束贈呈

加速器研究部 涌井 崇志

[東北経済連合会見学]

2013年8月6日（火曜日）に、東北経済連合会（東経連）の高玉昌一氏（東経連常務理事）、小林豊氏（東経連次長）、細越健志氏（東経連 ILC 課長）、そして理学研究科・物理学専攻・素粒子実験（加速器）研究室の佐貫智行准教授と石川明正助教が本センターの訪問・見学を行いました。

この見学の趣旨は、現在、国際的に計画が検討されている ILC（International Liner Collider：国際リニアコライダー）という大規模加速器研究施設の計画に関連して、産業界へどのような波及効果があるのか、異分野融合研究が推進されている本加速器施設の活動状況の視察でした。ILCは、史上最大最高の高エネルギー電子・陽電子



サイクロトロン本体室にて。東北経済連合会と物理学専攻・素粒子実験の研究室の皆さん

加速器のことで、電子・陽電子の衝突により、およそ 137 億年前のビックバンと呼ばれる大爆発の状態を実験室で再現し、宇宙誕生の謎を素粒子物理学の視点から解明する世界の素粒子物理学の拠点として運用される事が期待されています。国際的に誘致活動が活発になされていますが、先日、日本に建設される場合は、建設場所として東北地区に一本化されたところでした。これらの大型加速器計画では、中核となる素粒子・原子核物理の研究とともに、加速器から供給される量子ビームや、加速器を開発する過程で実現される多彩な科学技術を駆使した産学連携事業や産業界への波及効果が極めて重視されています。本センターは、まさに、サイクロトロンを軸として、生成される放射性同位元素 (RI) を用いた異分野融合研究を開拓しています。加速器の規模は違いますが、その目指すところに共通したところもあり、東北経済連合会の方々が非常に興味をもってサイクロトロン本体、イオン・中性子ビーム照射施設の見学を行いました。その後、本センターでの産学連携の実例に関して、詳細な情報交換が行われ、量子ビームを用いた半導体や機能材料の放射線損傷・品質評価の事業や、加速器開発に伴う高温超伝導線材を用いた電磁石開発等、産業界への波及効果に関して深い興味を示していました。また、東北地域の企業が、もっとこのような施設の存在・利用方法を知る機会を増やす事で、更なる産学連携が促進される印象を持ったようです。今回は、実験の兼ね合いで、ライフサイエンス・PET 等の活動を見学できませんでしたが、近いうちに、様々な企業関係者を中心としたツアーを検討したいとのことですので、次の機会には、理工系からライフサイエンス系にいたる異分野融合・産学連携の活動を紹介したいと思います。サイクロ関係者の皆様のご協力を引き続きよろしくお願い致します。

測定器研究部 酒見 泰寛

[化学グランプリ 2013 見学会]

化学グランプリとは、高校生を対象とした全国規模の化学コンテストです。8月23日(金)～24日(土)に東北大学川内北キャンパスで行われ、高校2年生以下のグランプリ成績上位者から20名程度が2014年の「国際化学オリンピックベトナム大会」の代表候補者として推薦されます。サイクロトロン・ラジオアイソトープセンターの見学は、大会2日目に予定されていたこともあり、80名の参加者はリラックスした様子でしたが、積極的に質問する生徒も多く、有意義な見学会でした。見学コースは、930サイクロトロン、HM12サイクロトロン、薬剤合成室、PET-CTとCYRICを代表する実験装置と研究内容について紹介を行いました。



測定器研究部 伊藤 正俊

[宮城県立仙台第一高校見学]

9月3日(火)に宮城県立仙台第一高等学校の生徒13名と引率の先生1名の14名の見学がありました。仙台一高は、平成24年度から文部科学省のスーパーサイエンスハイスクールの指定を受け、理数教育に力をいれています。その中の“宇宙線”に関する課題研究授業の一環として、東北大学のニュートリノ科学研究センターとサイクロトロン



ン・ラジオアイソトープセンターの見学を行い、課題研究内容をまとめるのに役立てるという趣旨でした。見学では、宇宙線に限らず本センターで行われているサイクロトロン加速器・放射性同位体を利用した様々な研究について高校生にわかりやすい説明が行われました。特に仙台一高出身の船木先生によるホットラボの見学説明と今後の学習および受験に関する後輩へのアドバイスには、生徒13名全員が真剣に聞き入っていました。多くの一高生が東北大に入学し、本センターで研究することを期待しています。

測定器研究部 伊藤 正俊

[センター外部評価の実施]

センター外部評価が、学内外から5名の評価委員の先生方をお招きして8月9日に行われました。今回で第3回目となりますが、以下にその実施概要を示します。また、外部評価の結果を報告書にまとめ関係各部所に配布しました。

外部評価委員

- 東京工業大学大学院理工学研究科基礎物理学専攻 旭 耕一郎 教授
- 千葉大学大学院薬学研究院分子画像薬品学研究室 荒野 泰 教授
- 大阪大学大学院医学系研究科生体情報医学講座 畑澤 順 教授
- 東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻 新堀 雄一 教授
- School of Nuclear Science and Engineering Shanghai Jiao Tong University Yuezhou WEI 教授

各研究部概要説明

- | | |
|------------------|-------------|
| 1. 全体説明 | センター長 谷内 一彦 |
| 2. 加速器研究部 | 涌井 崇志 |
| 3. 測定器研究部 | 酒見 泰寛 |
| 4. 核薬学研究部 | 岩田 錬 |
| 5. サイクロトロン核医学研究部 | 田代 学 |
| 6. 放射線管理研究部 | 渡部 浩司 |
| 7. 核燃料科学研究部 | 金 聖潤 |
| 8. 放射線高度利用研究部 | 人見啓太郎 |

[運営専門委員会報告]

平成25年度第2回（平成25年9月18日開催）

- 平成24年度決算及び平成25年度予算配分
- 寄附研究部門の設置
- 兼務教員
- 教員の異動
- 東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター規程の一部改正
- 加速器研究部教員選考委員会報告
- 各部会報告

平成25年度第3回（平成25年12月20日開催）

- 次期センター長候補者の選考

- 寄附研究部門の設置
- 教員の任期制
- 加速器研究部教員選考
- 各部会報告

[六ヶ所村分室の工学研究科への移管]

東北大学における新原子力利用研究分野の開拓事業を推進する拠点として平成 21 年度に青森県上北郡六ヶ所村に開設された六ヶ所村分室（核燃料科学研究部・放射線高度利用研究部）が本年 10 月 1 日、工学研究科（量子エネルギー工学専攻）へ移管されました。本事業は全学の組織である六ヶ所村センター検討委員会から概算要求で申請され、特別教育研究経費（平成 21 年度～25 年度、連携相手先：青森県、八戸工業大学）として認められたものですが、今年度から一般経費への組替が認められたこと等を踏まえ同委員会で本学における事業主体部局等について審議の結果、工学研究科（量子エネルギー工学専攻）への移管が決定したものです。

これに伴い、同日付けで金聖潤准教授及び人見啓太郎准教授は工学研究科へ配置換となり、三宅正泰助手はセンター放射線管理研究部へ所属変更となりました。

[平成 25 年度 放射性同位元素等取扱施設安全管理担当教職員研修]

平成 25 年度 放射性同位元素等取扱施設安全管理担当教職員研修（しばしば全国研修と呼ばれます）が平成 25 年 10 月 3 日（木）、10 月 4 日（金）の二日間、サイクロトロン・ラジオアイソトープセンターで行われました。この研修は、大学等における放射線安全管理担当教職員の資質向上と放射線施設の安全の確保を図る目的で、平成 15 年までは、文部科学省と国立大学アイソトープ総合センターの主催によって開催されてきました。平成 16 年の国立大学法人化により、文部科学省との共催は困難になりましたが、東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター、名古屋大学アイソトープ総合センター、東京大学アイソトープ総合センター、京都大学環境安全保健機構放射性同位元素総合センター、大阪大学ラジオアイソトープ総合センターの 5 大学の RI センターの共催という形で続けられてきました。5 大学が持ち回りで開催場所としてきており、前回、当センターで行われたのは平成 19 年です。本来は 5 年に一度、本センターが担当することになっていますが、東日本大震災の影響で 6 年ぶりの本センターでの開催となります。今回の研修では「放射化物の規制への対応」をテーマとしました。これは、平成 24 年に改正された放射線障害防止法において放射化物の管理が明文化され、放射化物を扱う施設は平成 26 年 3 月までに対応を行う必要があるからです。従来は、各大学内の放射線関連施設の職員に対して研修受講者を募ってきましたが、今回は、大型加速器や医療用加速器（PET 核種製造用サイクロトロン等）を所有する大学以外の研究施設や病院等の放射線安全管理担当者の方も募集対象としました。加速器関連施設の方しか応募してこないと考えておりましたが、合わせて 60 名ほどの研修参加希望があり、一施設一名に絞り、39 名（うち 5 名は大学以外の加速器施設の研修参加者）となりました。表 1 と 2 に 2 日間の研修日程を示します。

研修 1 日目の午前中は、基礎編として元本センター教授で、本学名誉教授の中村尚司先生と理化学研究所の上叢義朋先生に中性子の測定の原理や放射化物の測定に関して講義をしていただきました。また、原子力規制庁から南山力生放射線規制室長をお呼びし、特別講演をしていただきました。平成 25 年 4 月から、従来の放射線障害防止法に関する事務が文部科学省から原子力規制委員会に移管されました。本研修は、この移管後、初の開催となります。今までは、比較的容易に文部科学省の担当官を招へいできたのですが、原子力規制委員会移管後は、担当官の招へいのための事務処理が必要に

なりました。

研修1日目午後は、研修生を6つのグループに分け、実習と施設見学を行いました。実習では、あらかじめ用意した放射化した金属試料を、NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータにより試料表面の線量を測定し、Ge半導体検出器を用いて放射性同位元素の核種と数量を測定するということを研修生にやっていただきました。放射化により多くの核種が生成されます。この実習では、どのような核種がどのくらいできるのか、それが放射線線量とどのように関わってくるのかを知っていただくことを目的としています。金属試料作成のために、9月に930サイクロトロンを使わせていただきました。第1ターゲット室において、鉄、ステンレス鋼(SUS304)、アルミニウムの板状試料を30 MeV/0.9 μ Aの陽子ビームで照射して、陽子線放射化した試料を作成しました。また、ビーム延長室(32コース)において、70 MeV/1.5 μ Aの陽子ビームをリチウムターゲットに照射して発生させた中性子線を使って放射化した鉄、ステンレス鋼(SUS304)、アルミニウム、銅、鉛の板状試料を作製しました。施設見学の内容については、表3に示します。1時間半をかけて、サイクロトロン関連の設備、臨床用・動物用PET装置、ラジウム原器、陸奥鉄で造られた大型遮蔽箱などを見学していただきました。本センターにはキュリー夫人ゆかりのラジウム原器が貯蔵庫に保管されており、この見学会ではレプリカを見学いただきました(写真1)。

研修2日目午前は、1日目の実習の続きを行いました。研修2日目午後には、東北大学生活環境早期復旧技術研究センターの石井慶造先生をお招きし、「福島汚染・除染状況」という特別講演をしていただきました。また、先端医療センターの佐々木将博先生と高エネルギー加速器研究機構(KEK)の梶本和義先生に、それぞれ、医療施設と研究施設における実際の放射化物の取り扱いに関して講演いただきました。そして、最後に、研修生自ら実習の結果をまとめていただき、各グループで発表してもらいました。

この研修参加者は、加速器をはじめて見るという方から、日々加速器に関わる放射線管理をされている方までおります。多種多様な参加者全員が満足に行く講義・実習を行うのは大変でした。幸い、参加した多くの方に、本研修が大変良かったと言っていただき、ほっとしております。来年平成26年の開催校は大阪大学の予定です。

最後になりましたが、本研修を行うにあたり、事前準備、会場設営、受付、会計、施設見学等、本センターのスタッフ・学生の皆様に多大なご協力をいただきました。皆様の協力がなければ本研修が無事に終えることはできなかったでしょう。この場を借りて、深く御礼申し上げます。

表1. 全国研修日程表 10月3日(木)

8:30-9:00	受付・登録
9:00-9:05	開講挨拶： 谷内一彦(東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター)
9:05-9:15	ガイダンス： 渡部浩司
9:15-10:00	講義Ⅰ： 「加速器使用に伴う中性子生成と放射化」 中村尚司(東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター)
10:00-10:45	講義Ⅱ： 「サーベイメータを用いた放射化物判断・放射化と線量率との関係」 上蓑義朋(理化学研究所仁科加速器研究センター) 座長： 渡部浩司(東北大学)
10:45-11:00	休憩

11:00-11:45	特別講演：「放射線障害防止法関係の最近の動向 - 原子力規制委員会への業務移管ほか」 南山力生（原子力規制庁放射線対策・保障措置課放射線規制室室長） 座長： 吉村崇（大阪大学）
11:45-12:00	写真撮影
12:00-13:00	昼食
13:00-13:30	教育訓練：「CYRIC 放射線障害予防規程」 結城秀行（東北大学マイクロン・ラジオアイソトープセンター）
13:30-14:15	実習内容の説明 結城秀行（東北大学マイクロン・ラジオアイソトープセンター）
14:15-18:00	実習： 放射化物の測定 見学
18:30-20:00	交流会 【東北大学生協 AOSIS】

表 2. 全国研修日程表 10 月 4 日（金）

9:00- 12:00	実習： 放射化物の測定 【管理区域内】 実習結果の整理と発表準備
12:00-13:00	昼食
13:00-13:45	特別講演：「福島汚染・除染状況」 石井慶造（東北大学生活環境早期復旧技術研究センター） 座長： 和田洋一郎（東京大学）
13:45-14:00	休憩
14:00-14:45	講義Ⅲ：「PET 施設の放射化物の取扱いについて」 佐々木将博（先端医療センター）
14:45-15:30	講義Ⅳ：「研究機関における放射化物管理」 榊本和義（高エネルギー加速器研究機構放射線科学センター） 座長： 渡部浩司（東北大学）
15:30-15:45	休憩
15:45-16:50	実習結果発表・討論 座長： 柴田理尋（名古屋大学）
16:50-17:00	修了証授与・閉講挨拶：谷内一彦（東北大学マイクロン・ラジオアイソトープセンター）
17:00	解散

表3. サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター施設見学内容

サイクロトロン制御室 本体室 (930) 第1ターゲット室 ビーム延長室 (32コース) RI棟1階動物用PET装置室 RI棟3階物理実験室 研究棟1階陽電子診療室 ラジウム原器 陸奥鉄



写真1. 参加者集合写真

放射線管理研究部 渡部浩司

[放射線と RI の安全取扱いに関する全学講習会]

平成25年11月5日(火)、6日(水)、7日(木)、13日(水)、19日(火)、20日(水)、22日(金)

- ・第74回基礎コース講義：
工学部大講義室 11月6日(水)、13日(水)
- ・第74回基礎コース英語クラス講義：
CYRIC 分子イメージング棟講義室 11月7日(木)
- ・実習：
CYRIC RI棟 11月19日(火)、20日(水)、22日(金)

・第35回SORコース（基礎コースの講義のみを受講）

基礎コース講義内容：

11月6日（水）

時 間	講 義 内 容	講 師
8:50～ 9:00	ガイダンス	
9:00～ 9:30	放射線の安全取扱（1） 「放射線概論」	CYRIC 渡部 浩司
9:40～10:40	人体に対する放射線の影響	医学系研究科 鈴木 未来子
10:50～11:50	放射線の安全取扱（2） 「物理計測」	CYRIC 酒見 泰寛
12:40～14:10	放射線取扱に関する法令	CYRIC 渡部 浩司
14:20～15:20	放射線の安全取扱（3） 「RIの化学」	高等教育開発 推進センター 関根 勉
15:30～17:00	放射線の安全取扱（4）	農学研究科 白川 仁
17:00～17:20	小テスト	

11月13日（水）

時 間	講 義 内 容	講 師
8:50～ 9:00	ガイダンス	
9:00～ 9:30	放射線の安全取扱（1） 「放射線概論」	CYRIC 渡部 浩司
9:40～10:40	人体に対する放射線の影響	CYRIC 田代 学
10:50～11:50	放射線の安全取扱（2） 「物理計測」	CYRIC 伊藤 正俊
12:40～14:10	放射線取扱に関する法令	CYRIC 渡部 浩司
14:20～15:20	放射線の安全取扱（3） 「RIの科学」	工学研究科 三村 均
15:30～17:00	放射線の安全取扱（4）	CYRIC 船木 善仁
17:00～17:20	小テスト	

基礎コース英語クラス講義内容：

11月7日（木）

時 間	講 義 内 容	講 師
8:50～ 9:00	Guidance	
9:00～ 9:30	Introduction to safe handling of radiation	CYRIC 渡部 浩司
9:40～10:40	Effects of radiation to human	CYRIC 平岡 宏太良
10:50～11:50	Physics for safe handling of radiation	理学研究科 岩佐 直仁
12:40～13:40	Chemistry for safe handling of radiation	多元物質 科学研究所 佐藤 修彰
13:50～15:20	Regulation law for radiation handling	CYRIC 渡部 浩司
15:30～17:00	Safe handling of radiation/isotopes	薬学研究科 吉田 浩子
17:00～17:20	Examination	

・第61回X線コース講義：

工学部大講義室 11月5日（火）8:50～12:00

・第61回X線コース英語クラス講義：

CYRIC 分子イメージング棟講義室 11月5日(火)13:20~16:10

X線コース講義内容：

11月5日(火)

時間	講義内容	講師
8:50~9:00	ガイダンス	
9:00~10:30	X線装置の安全取扱い	工学研究科 寺川 貴樹
10:40~11:10	X線関係法令	工学研究科 松山 成男
11:20~12:00	安全取扱いに関するビデオ	CYRIC 結城 秀行

X線コース英語クラス講義内容：

11月5日(火)

時間	講義内容	講師
13:20~13:30	Guidance	
13:30~15:00	Safe handling of X-ray machines	CYRIC 渡部 浩司
15:10~15:40	Regulation for X-ray machine handling	CYRIC 渡部 浩司
15:50~16:10	VTR for safe handling of radiation	CYRIC 結城 秀行

[センター防災訓練]

平成25年11月25日午前10時40分過ぎから防災訓練が実施されました。センター教職員、各研究部所属学生および日環研社員、総勢40数名が参加して、災害発生時の役割分担と作業内容の確認、サイクロトロン実験棟西側にての火災消火器使用法、サイクロトロン棟での担架と室内消火栓の使用法について1時間以上にわたって熱心に訓練に励みました。



訓練風景 上・消火訓練 下左・担架使用訓練 下右・消火栓使用方法説明

[研究棟改修工事]

平成 24 年度補正予算により「東北大学（青葉山 2）量子脳疾患・がん研究センター整備事業」が認められ、研究棟の改修工事が始まりました。工事内容は、既存の建物全体の断熱補強による省エネ化と 1 階の PET 診療スペースの拡張および老朽化部分の改修工事と、約 300 m²の 2 階建ての増築工事（研究棟玄関口とサイクロトロン棟連絡出入口をまたぐ形で設置されます。また、3 階までのエレベータが新設されます）です。診療施設として車椅子・ストレッチャー利用の患者への対応を視野に入れたバリアフリー改修及び患者が心身ともにリラックスできる環境の整備も含まれており、施設利用者の居住環境と機能性の向上を図ることを目的とされています。工事期間は、改修工事は 11 月から来年 3 月末まで、増築工事は来年 4 月から 7 月までを予定しています。この工事に伴い研究棟での PET の使用ができないため、第 119 回と 120 回共同利用における PET 臨床研究は中断しています。共同利用再開は平成 26 年 5 月を予定していますが、詳しい日程等に関してはホームページなどで案内します。尚、核薬学研究部とサイクロトロン核医学研究部のスタッフ及び学生は、分子イメージング棟と RI 棟 2 階に一時的に転居しました。

[東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター共同利用実験第 34 回研究報告会]

平成 25 年 12 月 9 日（月）に共同利用発表会が開催されました。今年は研究棟改修工事の実施に伴い一部共同利用が停止されており 1 日間のみの開催となりました。

谷内一彦センター長の開会の挨拶に引き続き、学内外からの演者による 22 の講演が行われました。以下にそのプログラムを示します。



谷内一彦センター長の開会の挨拶

12 月 9 日（月）

午前（9 時 30 分～12 時 30 分）

- 開会の挨拶 センター長 谷内一彦
- 930 型サイクロトロンおよび HM12 型サイクロトロンの現状 涌井崇志

セッション 1	ライフサイエンス系分野講演	10:00 ~ 11:15	座長：	工藤幸司
1-1	PET による腎血流評価法の確立			森 建文
1-2	[¹⁸ F]THK-5117 を用いたアルツハイマー病患者脳内タウ蛋白の PET イメージング			岡村信行
1-3	Brain Histamine H1 Receptor Binding in Patients with Irritable Bowel Syndrome with Diarrhea			福土 審
1-4	¹¹ C-doxepin-PET による抗ヒスタミン薬 levocetirizine の脳内ヒスタミン H1 受容体占拠率の測定			平岡宏太良
1-5	3 次元トラッキング装置を用いた脳 PET 検査の体動補正システムの開発と性能評価			四月朔日聖一

<休 憩>

セッション2 ライフサイエンス系分野講演	11:30 ~ 12:30	座長:	平澤典保
2-1 脳内異常蓄積タンパク質のイメージングプローブ開発			古本祥三
2-2 PET用タウイメージング剤[¹⁸ F]THK-5105 エナンチオマーの合成と評価			多胡哲郎
2-3 ¹⁸ F 標識トリフェニルホスホニウム誘導体の合成と評価			富永隆裕
2-4 無細胞タンパク質合成系を利用した新規ポジロン標識タンパク質合成法			古本祥三

<昼 食>

午後 (14時00分~17時30分)

セッション3 理工系分野講演	14:00 ~ 15:30	座長:	前田和茂
3-1 ダイナミトロン加速器の現状			松山成男
3-2 マイクロパターンガス検出器のガス増幅率向上に関する研究			金田 賢
3-3 原子燃料被覆管材料のヘリウム注入による材料劣化挙動に関する研究			藪内聖皓
3-4 ATLAS 実験用シリコン半導体位置検出器の放射線損傷試験			池上陽一
3-5 Σp 散乱実験のための散乱陽子検出システムの性能評価			赤澤雄也
3-6 陽子-偏極ヘリウム3弾性散乱実験による四核子系での三体核力の研究			和田泰敬

<休 憩>

セッション4 理工系分野講演	15:45 ~ 17:15	座長:	長谷川晃
4-1 多重崩壊 α 粒子測定による ¹² Cにおける α クラスターガス状態の研究			伊藤正俊
4-2 電子電気双極子能率探索のためのレーザー冷却不安定原子生成工場の開発			川村広和
4-3 電気双極子能率探索のためのレーザー冷却装置の開発			原田健一
4-4 加速器ビームを使った原子核・素粒子実験実習スクール開催			井上壮志
4-5 国際リニアコライダーにおける崩壊点検出器FPCCDの中性子耐性評価			石川明正
4-6 心臓ペースメーカー電気刺激による局所能血流変化の研究			鈴木秀明

● 研究報告会まとめ	17:15 ~ 17:30	課題採択部会長:	酒見泰寛
● 利用者の会	17:15 ~ 18:00		
● 懇親会	18:00 ~		

R I 管 理 メ モ

1. 施設の状況

今冬から、東北大学病院出張診療所の充実化や1階から3階までのエレベーター設置等を内容とした、研究棟改修工事・増築工事が行われます。工事期間は、既存の研究棟の改修工事が平成26年の3月まで、増築工事が平成26年4月～7月の予定です。少なくとも来年の3月までは研究棟での臨床の利用ができません。状況となります。

更に、サイクロトロン棟放射線管理区域の各室内の空気の換気のために使用されている空調ダクト（屋上に設置）の経年劣化が進んでおり、これを更新する工事が平成26年2月～3月に行われる予定です。この期間中はサイクロトロンの使用が2台とも不可能となるため、サイクロトロン共同利用もこの期間は休止となります。

利用者の方々にはご不便をおかけします。なお、RI棟共同利用は通常通り行われます。

また、装置の不調が続き利用者の方々にご不便をおかけしておりましたが、各放射線管理区域出入口に設置されていた入退管理システム（ゲート等）も今年度中に更新されます。現行のIDカードは使用できなくなりますが、新システム用のIDカードを現行の物と交換でお渡しします。その時期については、後ほど利用者の方々にご案内いたしますので、それまでお待ちください。なお、入退管理システムと同時に、センター内の放射線モニタリングシステムも新しく設置されます。

2. J-PARC 事故に伴う調査への対応

今年5月23日に茨城県のJ-PARCで起きたRI漏洩および被ばく事故を受けて、原子力規制委員会と文部科学省によってそれぞれ設備安全性や安全管理体制に関する調査が国内の各大型加速器施設に対して行われ、本センターもそれに対応いたしました。設備面および安全管理体制について特に大きな問題がないことが確認されました。

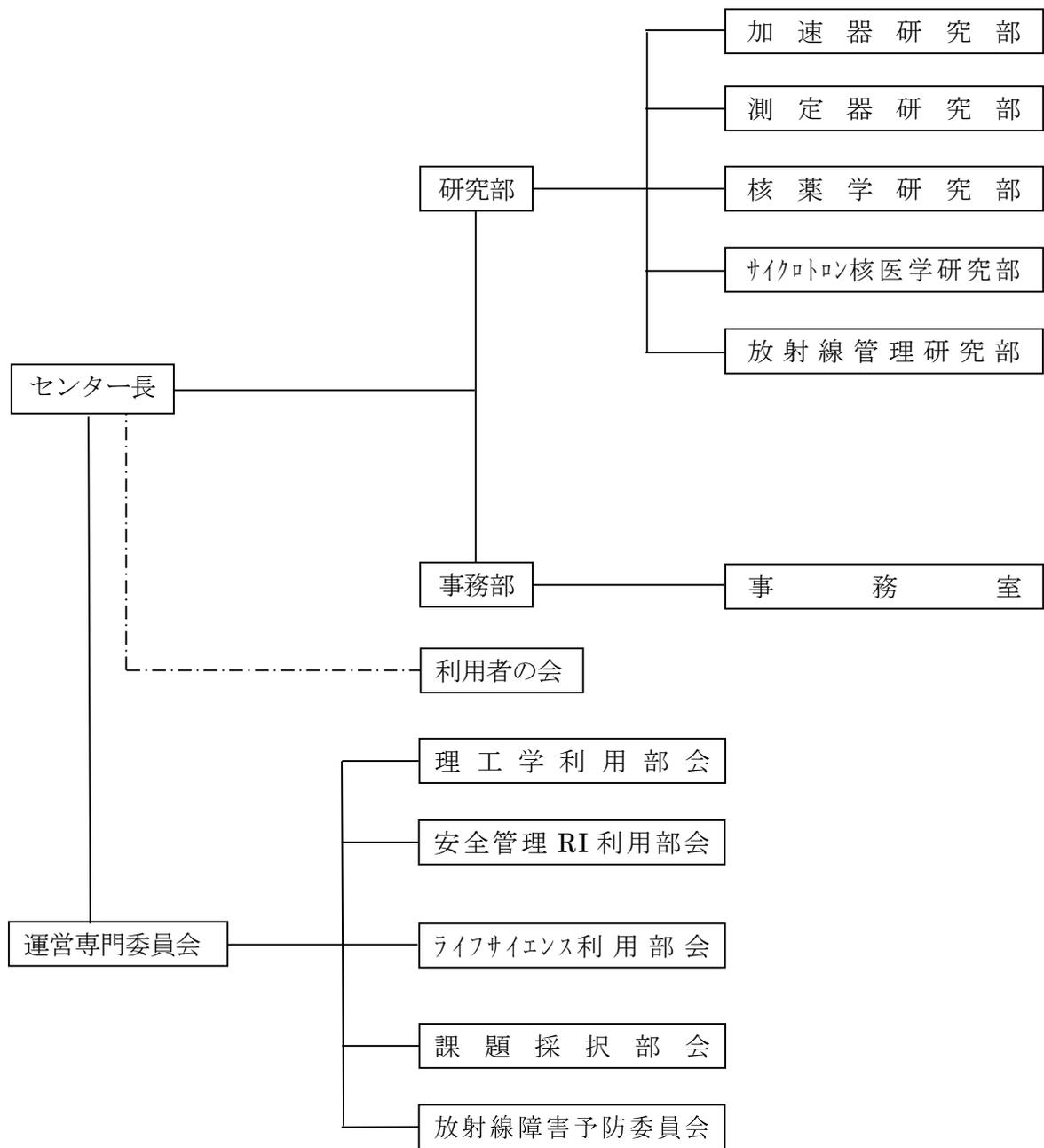
3. 定期再教育訓練

センター利用者に対する放射線業務従事者のための再教育訓練が、今年も理学部と合同で、7月1日に開催されました。センター利用者の方々だけで74名が受講しました。

4. 電離放射線健康診断

平成25年度第2回目のセンター所属放射線業務従事者のための特別定期健康診断が10月に行われ、問診は10月18日に45名が受診し、そのうち11名が10月28日に検診を受診しました。

組 織 図



共同利用相談窓口（ダイヤルイン）

理 学 系	酒 見 泰 寛	795-7795	sakemi@cyric.tohoku.ac.jp
工 学 系	渡 部 浩 司	795-7803	watabe@cyric.tohoku.ac.jp
薬 学 系	岩 田 錬	795-7798	rencyric@cyric.tohoku.ac.jp
医 学 系	田 代 学	795-7797	mtashiro@cyric.tohoku.ac.jp
事 務 室	相 澤 克 夫	795-7800 (内 3476)	cyric-jm@bureau.tohoku.ac.jp
R I 棟 管 理 室	結 城 秀 行	795-7808 (内 4399)	yukihide@cyric.tohoku.ac.jp

編集後記

フィリピンでは大きな台風で大変心が痛むような被害がでました。震災からの復興を目指す私たち東北の者にとってはあの映像と自分たちを重ね合わせる人も多いのではないのでしょうか。改めて自然の力には人間は無力だと感じざるを得ません。

しかし、その中で国の内外を問わず助け合い励まし合っている姿に私達は共感し人間の底力を見る思いがします。人間が自然に挑むことはできませんが、科学を解明し一步一步人類の未来を切り開いていくことはできます。編集を通じてこの沢山の研究が人々の明るい未来につながる事を祈念する思いです。

(Y.K. 記)

広報委員

委員長	岩田 錬 (CYRIC)
	木野 康志 (理学研究科)
	藤井 優 (理学研究科)
	岡村 信行 (医学系研究科)
	人見 啓太郎 (工学研究科)
	吉田 浩子 (薬学研究科)
	渡部 浩司 (CYRIC)
	船木 善仁 (CYRIC)
	平岡 宏太良 (CYRIC)
	三宅 正泰 (CYRIC)
	石川 洋一 (CYRIC)
	伊藤 正俊 (CYRIC)
	涌井 崇志 (CYRIC)
	倉島 由美 (CYRIC)

題字デザイン：田代 学

CYRIC ニュース No. 54 2013年12月27日発行

〒980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉6番3号
東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター
TEL 022 (795) 7800 (代表)
FAX 022 (795) 7997 (センター事務室)
" 022 (795) 7809 (放射線管理事務室)
E-mail : koho@cyric.tohoku.ac.jp
Web page : <http://www.cyric.tohoku.ac.jp/>

