

▲▼ 会議のトピックス(III) ▼▲

韓国・核データ測定ワークショップへ参加して 東南圏原子力医学院がんセンター (DIRAMS) 訪問記

北海道大学大学院理学研究院
原子核反応データベース研究開発センター
牧永 あや乃
makinaga@nucl.sci.hokudai.ac.jp

1. はじめに

核データ測定ワークショップが、2013年8月1～2日に韓国の釜山市郊外の東南圏原子力医学院がんセンター (Dongnam Institute of Radiological & Medical Sciences: DIRAMS) で開催されました。DIRAMS は、韓国原子力医学院 (Korea Institute of Radiological and Medical Science: KIRAMS) の附属機関として 2010 年に開院し、サイバーナイフ、断層撮影機、映像誘導の放射線治療、放射線強度調整治療法等の最先端の医療技術を提供しており、現在、重粒子線加速器の建設を行っています。本ワークショップは、浦項加速器研究所の関係者が中心となり毎年開催され、韓国における核データ測定や加速器の建設、海外 (韓国外) との共同研究の進行状況について報告を行います。本年は、慶北大学校 (Kyungpook National University: KNU) の G.N. Kim 氏、浦項工科大学校 (Pohang University of Science and Technology: POSTECH) の M.H. Cho 氏、DIRAMS の M.W. Lee 氏が中心となり、DIRAMS の医師、医学物理士、加速器技術者へ参加を呼びかけたことをきっかけとし、初めて病院内で核データワークショップが開催される運びとなったようです。報告者は、アメリカ 1 名、インド 1 名、日本 1 名、韓国 19 名の計 21 名でした。私自身は、韓国での共同研究者である G.N. Kim 氏と M.W. Lee 氏から、「韓国でのワークショップどう？」という短い案内に対して「参加してもいいのですか？」という短い返信をもって、参加することになりました。私の



写真 1 釜山市郊外にある東南圏原子力医学院がんセンターDIRAMS

方からは、「北海道大学工学研究院にあります 45MeV 電子ライナックを用いた核データ測定活動」、「北海道大学核データセンターJCPRG - 理化学研究所の核データプロジェクト」についての報告を行いました。以下に、私が興味を持ちましたトピックについて紹介させていただきます。



写真 2 会場の様子。白衣を着た医師や医学物理士達の姿も多々ありました。

2. 加速器・宇宙・医療と核データ

ワークショップは、DIRAMS の施設長の S.Y. Lee 氏による、参加者に対する激励の挨拶により始まりました。

1) 加速器開発

M.W. Lee 氏からは、DIRAMS に建設予定の放射線治療用電子線加速器についてのスケジュールと予算等の見積りの報告がありました。重粒子線治療計画とは別に、現在 DIRAMS で稼働中の医療用リニアック（電子エネルギー約 7 MeV、ビーム強度約 100mA）に代わる加速器で、浦項加速器施設の 100 MeV 電子リニアックをモデルとしています。

K.R. Kim 氏からは、KAERI が中心となり進めている KOMAC (Korea Multi-purpose Accelerator Complex) の陽子線加速器拡張建設の報告がありました。2002 年から始まった建設は 2012 年 12 月に終了し、建設費用は 3,143 億ウォン（政府：1,836 億ウォン、地方：1,182 億ウォン、企業 125 億ウォン）でした。現在、20 MeV と 100 MeV 陽子線リニアックが利用可能です。実験提案分野の内訳は、原子核・基礎科学 28%、原子力工学 18%、

半導体・物性 18%、環境・エネルギー 12%、生物・医療 24%で、年々増加する利用者に対するサービスの充実を目指しているそうです。

J.C. Kim 氏からは、重イオン加速器施設 RAON における速中性子源を用いた核データ測定環境の整備について報告がありました。RAON の大部分は、不安定核の核構造、天体核物理、超重元素探索を主目的とした施設構造となっており、コンパクト版の理研 RIBF のような印象です。中性子実験については、

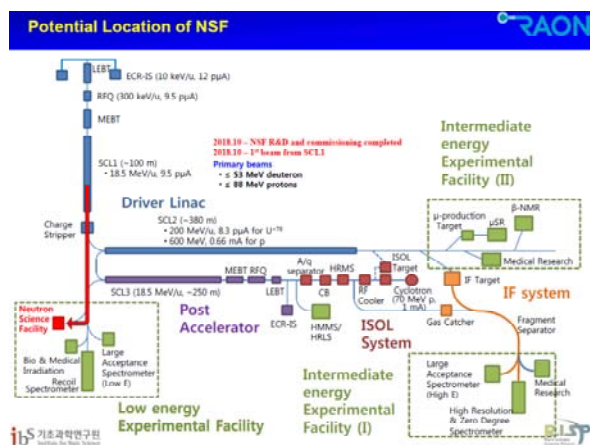


図 1 重イオン加速器施設 RAON。図中の左下にあたる Neutron Science Facility を核データ測定用に使用する予定です。

第一超電導リニアック (SCL1) からの最大 53 MeV の重水素線、最大 88 MeV の陽子線
 を中性子実験室へ導き、Be, C (D, n)反応による白色中性子線 (飛行距離 5m)、Li (p, n)
 反応による単色中性子線 (飛行距離 20m) を利用する設計です。放射性廃棄物処理用、加
 速器駆動システム設計用の核データ測定を予定しており、まずは U-238 (n, f)の測定を目
 指しているそうです。

2) 核データ測定・評価

発表者の多くが G.N. Kim 氏、M.H. Cho 氏の学生や共同研究者ということもあり、主な
 テーマは「制動放射線、陽子線、 α 線を用いた放射化断面積の測定」、「中性子 TOF 法に
 よる中性子全断面積または捕獲断面積の測定」でした。

G.N. Kim氏からの報告としまして、浦項加速器研究所 (中性子全断面積 - Nb-93, Mo-nat,
 中性子捕獲断面積- Ho-165, 中性子放射化断面積- Ho-165, Au-197, In-115, 制動放射線を用
 いた放射化分析 - Sb-nat (γ , xn) Sb-120m,g, Sb-122m,g, Pd-nat (γ , xn) Pd-109m,g, Cd-nat (γ ,
 xn) Cd-115m,g, Mn-55 (γ , xn) Mn-52m,g, Au-197 (γ , xn) Au-196m,g, Nb-93 (γ , xn) Nb-89m,g,
 Nb-95m,g, 光核分裂生成物の質量数分布の分析 - Pb-nat, Bi-209, Th-232, U-238)、KIRAMS
 サイクロトロン施設 (陽子線放射化分析- Mo-nat (p, x) Tc-99m, 96m,g, 95m,g, 94m,g, 93m,g,
 Mo-99,93m, Nb-96, 95g, 90, Zr-89g, Zn-nat (p, x) Ga-66, 67, Zn-62, 65, 69m, Cu-61, Zr-nat (p,
 x) Nb-90, 92m, 95g, 96, Zr-88, 89, Y-86, 87m, 87m,g, 88, W-nat (p, x) Re-181, 182m,g, 183,
 184g, 186, Cd-nat (p, x) Cd-107, 111m, 115g, In-108m,g, 109g, 110m, 110, 111g, 113m, 114m,
 115m, 116m, Ag-104g, 105g, 106m, 110m, 111g, 113g, Ag-nat (p, x) Ag-104g, 105, 106m, Cd-
 104, 107, Sn-nat (p, x) Sb-124, 122, 120m, 118m, 117, In-117m, 113Sn, 114m, 111, 110, Zr-nat (p,
 x) Y-86g, 87m,g, Zr-88, 89g, Nb-90, 92m, Ti-nat (p, x) V-48, Sc-43, 44m,g, 46, 47, 48, Pd-nat (p,
 x) Ag-105g+m, 106m, Pd-100, 101, Rh-100g+m, 101m, 105g+m, Ni-nat (p, x) Co-55, 56, 57,

58m+g, Ni-56, 57, 陽子反応断面積 -
 Fe-nat (p, x) Co-55, 56, 57, Cr-51, Mn-52,
 54, Y-nat (p, x) Zr-89g, 88, Y-88g, 87g, m,
 86g, Sr-85g, Rb-84, α 粒子反応断面積 -
 Fe-nat (α , x) Co-55, 56, 57, 58, 61, Mn-56,
 Ni-56, 57) がありました。その他、東北
 大学で行った重水素ビーム入射実験や
 インドのコルカタにある VECC (Variable
 Energy Cyclotron Center) で行った α 線入
 射実験の紹介が行われました。膨大な量
 の核データ測定と共同研究者の多さに

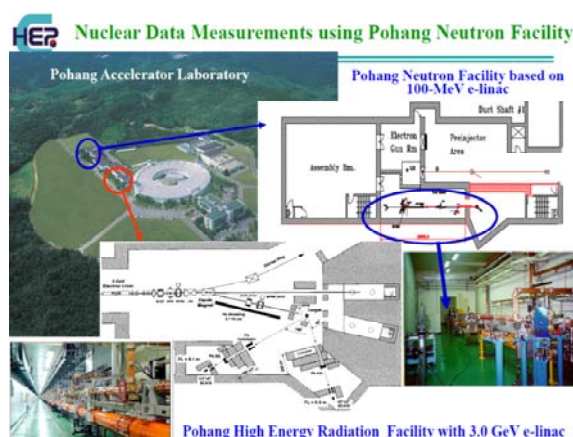


図 2 浦項加速器研究所の概観と中性子用ビームラインの見取り図。

圧倒されました。

Y. Danon 氏からは、アメリカのニューヨークにあります RPI (Gaertner LINAC Center, Rensselaer Polytechnic Institute) における核データ測定活動について報告がありました。最近の活動としましては、1)中性子飛行法を用いた 0.01eV~2keV 領域の中性子捕獲反応、0.001eV~100eV 領域の全断面積測定、2) 0.4~20MeV 領域での散乱実験、3)鉛のスローダウンスペクトロメータを用いた、中性子入射の核分裂断面積、核分裂生成物の質量分布やエネルギー分布の測定について紹介がありました。1), 2)については、例えば、Mo-nat では、20mm や 200mm といった厚いサンプルを用いた場合、120 eV~145 eV 領域の中性子全断面積の実験結果は ENDF/B-VII の評価値から大きく外れるそうです。また、Cd-nat の場合、ENDF/B-VI.8 の評価値は実験に対して再現性が良いのですが、Cd の同位体別の評価値を用いて再現した Cd-nat の全断面積は、実験値との一致度が悪くなりサンプルが厚くなる程、顕著に現れるそうです。3)については、鉛ブロック 180cm×180cm、総重量 67t の中央に配置した Ta サンプルへ電子ビームを照射することにより発生させた中性子を鉛空間中で弾性散乱させ閉じ込めることにより、通常の 10^3 から 10^4 倍の高い中性子束が得られるそうです。この中性子源を用いた Cf-252, U-235, Pu-239 に対する核分裂生成物のエネルギー分布や質量数分布の測定結果が紹介されました。

私の方からは、北大 JCPRG における実験核データベース構築の紹介としまして、理化学研究所と共同で進めております不安定核実験データの集中的なデータベース化プロ



写真 3 JCPRG-KNU共同研究のグループ写真。北大リナック制御室にて。

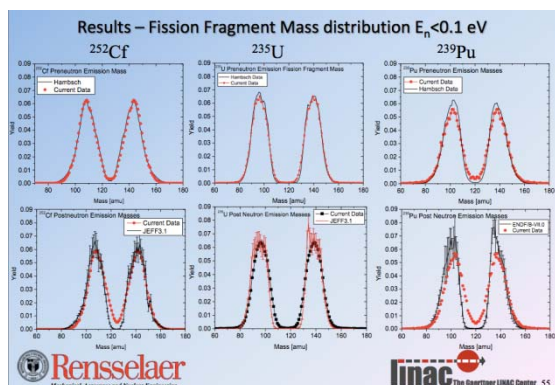


図 3 RPIでの鉛スローダウンスペクトロメータを用いた測定結果。左からCf-252, U-238、Pu-239の核分裂生成物の質量数分布。

ジェクトについて、核データ測定は、JCPRG - KNU 共同研究の現状について報告を行いました。JCPRG 側は、「北大電子 LINAC を使い Be+n 反応を実験的に調べること」、KNU 側は、「浦項中性子施設で中性子全断面積と捕獲断面積を測定すること」がテーマです。JCPRG 側としまして (とはいっても私一人なのですが)、北大・工学部の加美山先生・鬼柳先生・木野先生との共同研究として、中性子線源や制動放射線源の性質を調べることから

始めました。その後、甲南大学や理化学研究所から検出器系やデータ収集系装置の援助を得て、制動放射線を用いた Ag-nat, Mo-nat, Pb-nat, Cu-nat の(γ , n)反応等による生成核種の分析や、中性子飛行法を用いた Cd-nat の透過スペクトルの測定が出来るようになりました。現在、実験データの解析を進めています。

3) 放射線医療技術

W.G. Jung 氏からは、KIRAMS における炭素線治療用サイクロトロン加速器を用いた治療計画と放射線治療システムの開発について紹介がありました。病院での使用を容易にするために、直径 7m というコンパクト化に成功したこと、またビーム強度が $10^9 \sim 10^{11}$ 高いことがあげられていました。加速エネルギーは 140~430 MeV/u であり、230, 290, 350, 400 MeV/u の 4 段階程度を治療用として利用するそうです。一方で、小型加速器を用いて高強度ビームを用いることになるために、ビーム入射時や加速時のビーム損失が大きく遮蔽設計に気を使う必要があり、放射化物の発生量増加が問題となることが報告されました。世界初となるシステムを含むために慎重に計画を進める必要があり、今後国内外との共同研究開発体制の強化を積極的に進めることになるそうです。

4) 高エネルギー宇宙線測定

A. Jung 氏からは、極限エネルギー宇宙線観測ミッションである JEM-EUSO (Extreme Universe Space Observatory onboard Japanese Experiment Module) 計画について報告がありました。 10^{20} eV を超えるエネルギーを持つ宇宙線が地球大気中の原子核と衝突すると電子・陽電子等からなる空気シャワーが発生します。この時に大気中で励起された窒素による発光現象を国際宇宙ステーション (ISS) から観測することにより、

起源天体の同定や宇宙線の加速原理について情報を得ることが出来ます。本計画は、日本の理化学研究所を中心とした 13 カ国による国際プロジェクトであり、韓国は、光検出器の信号処理を行うための FPGA ボードの設計に貢献しているそうです。JEM-EUSO は 2017 年に ISS へ搭載し観測を行う予定です。本計画については、私が甲南大学に所属していた時に少しお手伝いをする機会があったのですが、核データとの関わりの部分としては、観測機器の宇宙線に

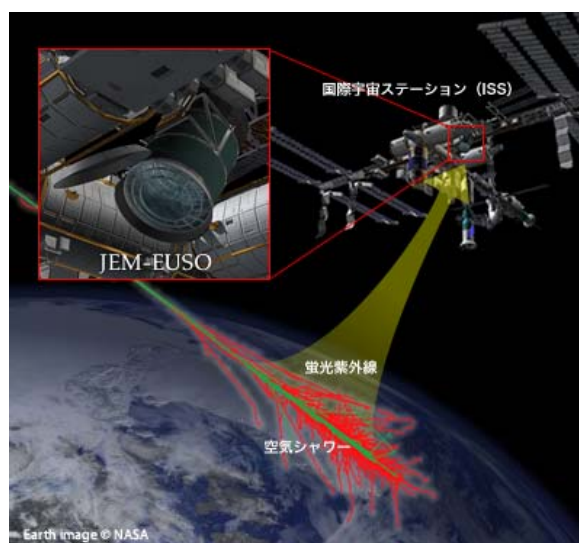


図 4 JEM-EUSO計画の図。国際宇宙ステーション (ISS) から、空気シャワーにより発生する蛍光紫外線を光検出器で測定します。
<http://jemeuso.riken.jp/jp/index.html>

よる影響の他に、空気シャワーのシミュレーションを行う上で、中高エネルギーにおける軽核の荷電粒子反応断面積の評価が大切であることを教わりました。

3. さいごに

今回のワークショップで印象的だったことは、現場の医師達が積極的に核データ測定技術のアイデアを熱心にメモにとり、放射線治療の精度を向上させるための議論や検討が非常に白熱していたことです。現場の医師、医学物理士、加速器技術者、核データ測定研究者それぞれが自分の専門を生かし相手から学び、一丸となって放射線治療技術の開発に取り組む姿に感銘を受けました。現在、北海道大学医学部では、陽子線治療用の陽子シンクロトン加速器の建設が終了し、試運転・性能試験が行われています。医療に必要な核データの実験的・理論的研究の提案も出ております。今後、北海道大学においても医療用核データ研究が進められると良いと思います。



写真 4 ワークショップが終わった後の昼食は伝統的な韓国料理食堂でした。幸か不幸か、お客様用にと特別に注文された犬ハムがテーブルから遠かったために食べずに済みました。



写真 5 バンケットはプサン市中心街にあるお洒落な多国籍料理バイキングでした。寿司ネタの種類が豊富かつ非常に新鮮でした。

謝辞

本ワークショップへの参加を快く承諾していただきました、北海道大学理学研究院原子核反応データベース研究開発センターの合川正幸教授へ、この場をお借りして感謝いたします。



写真 6 韓国核データ測定ワークショップの集合写真。
(一日目に撮影したため、二日目からの参加者は残念ながら写っていません。)

以上