

2010年国際会議報告

(財)高度情報科学技術研究機構
仁井田 浩二

2010年は、当財団（RIST）、日本原子力研究開発機構（JAEA）、高エネルギー加速器研究機構（KEK）が共同で開発している粒子・重イオン輸送計算コード PHITS（Particle and Heavy Ion Transport code System）にとって飛躍の年であった。この一年に出席した国際会議を振り返りながら、PHITSの現状と展望について述べてみたい。

1. はじめに

2003年に公開された粒子・重イオン輸送計算コード PHITSは、高エネルギーから熱領域までの広いエネルギー範囲で、重イオンを含む全ての粒子の輸送現象を扱うことができ、また、グラフィック出力等の豊富なユティリティーも兼ね備えていることから、加速器施設、航空宇宙関係、粒子線医療関係等で幅広く利用されてきた。統合粒子輸送コードでは後発であるにもかかわらず、この7年で、世界の代表的な統合コードのひとつに数えられるに到った。現在ユーザーは500人に上り、2010年には、これまでの改良をまとめて、PHITS2としてバージョン2が公開され、更なる発展が期待されている。PHITSにとって飛躍の年になった2010年を振り返って、筆者が参加した国際会議を軸にPHITSの現状と展望を述べてみたい。

2. ND2010

核データ国際会議（International Conference on Nuclear Data for Science & Technology : ND2010）は、3年ごとに開催され、過去3回は、2001年筑波、2004年米国サンタフェ、2007年フランスニースで開催され、核データの分野で最も重要な国際会議で

ある。2010年は4月26～30日の日程で、韓国済州島の新羅（Shilla）ホテルで開催され、世界38カ国より395名の研究者が集い、核データの測定・評価から、核融合、医療等の応用分野での核データ利用研究まで、457件の研究成果が報告された。韓国での開催のため、韓国、日本、中国からの参加者が多く、日本からは約70名の参加者があった。済州島はリゾートとサミットなどの国際会議場の誘致に力を入れており、会場は豪華なものであった。連日天気恵まれたが、遠足の日だけ雨に見舞われるという不運で、それでも、目的地の半島に突き出している噴火口の石山、「城山日出峰」に着いたときには、何とか雨が上がり、石山の頂上に登ることが出来た。



韓国、済州島の「城山日出峰」

PHITSでは、原子核反応を記述するのに2つの方法を用いる。反応毎に核反応モデルでシミュレーションする方法と、整備された核データを用いる方法である。前者は、主に高エネルギーの原子核反応に用いられ、後者は主に20MeV以下の中性子の輸送に用いられる。核反応モデルを用いる場合は、反応毎にエネルギーと運動量が保存する、所謂、Event Generatorになっているが、核データを使った計算では、そうはなっていない。PHITSでは、この問題を解決するために、低エネルギーの中性子入射核反応にEvent Generator Modeという新しいモデルを導入し、高エネルギーから低エネルギーまで、イベント毎の情報を記述できるようにした。このモデルは、核データに含まれる情報と核反応モデルを組み合わせたもので、モデルそれ自体は、まだ日も浅く洗練されたものではないが、それによって記述されるものは、核データの利用だけでは記述できなかった、全く新しいものである。即ち、核データを用いた輸送計算で記述されるものは、一体の観測量であるが、Event Generator Modeでは、二体以上の高次の観測量が計算できるようになる。具体的には、これまでは、フラックス、発熱等の平均値しか計算できなかったものが、イベント毎の強度分布、相関、同時計測量、分散等が計算できるようになる。これらの量は、測定器の応答関数の計算、半導体の放射線によるソフトエラーの評価、細胞、DNAレベルでの放射線の影響評価等に、今後ますます重要になる量であり、核データ利用のひとつの新しい展開を示している。このPHITSに導入したEvent Generator Modeは、前回の2007年のニースの会議でも発表しているが、伝統的な核データの学会からは、その重要性がなかなか理解してもらえなかった。今回は、これまでいろいろところで宣伝した効果もあり、Event Generatorの発表に対する反響が大きかったように感じた。

この会議で、筆者はもうひとつの発表を行った。今韓国では、重イオン加速器を用いたKoRIA (Korea Rare Isotope Accelerator) という大型のプロジェクトが開始されている。この計画のR&Dために、各種のシミュレーションコードが必要になるが、その中で、ドイツ重イオン科学研究所 (GSI) の重イオン加速器施設FAIR、理化学研究所のRIBF、米国のミシガンステート大学で建設が始まった次期加速器施設FRIB等で既に実績のあるPHITSコードが注目され、講演を依頼された。韓国では初めての重イオン加速器施設であり、多くの韓国の研究者と活発な議論がなされた。

その他の会議の詳細については、JAEAの核データ評価研究グループが発行している核データニュースに詳しいので割愛するとして、ここでは会議で報告された核反応モデルについて触れたい。前述したように、PHITSでは、高エネルギーの核反応は、核反応モデルによってシミュレートしている。特に粒子入射反応では、INC (Intra Nuclear Cascade) モデルというものが一般に使われているが、このモデルの欠点は、複合粒子の生成、所謂、フラグメンテーション過程の記述が十分ではないことにある。本会議では、ベルギー Liege大学のCugnon氏とMancusi氏が、複合粒子の放出を記述する新しいINCモデル (INCL4) を報告し、その素晴らしい結果に強い印象を受けた。これまでのPHITSの大きな問題のひとつが、この新しいモデルの導入で解決する。この会議を契機に、彼らとの協力関係が、後に述べる11月のドイツ重イオン科学研究所 (GSI) での会合で実現することになる。

3. 水原

ND2010で韓国の多くの研究者に、PHITSをアピールできたためか、会議の後すぐに、韓国の研究者からPHITSの講習会の依頼が

来た。韓国のKoRIAの関係者と粒子線治療関係者が合同で、学生と若い研究者向けのPHITS講習会を開催することになった。主催者は、韓国国立がんセンターのKim教授と、成均館大学のHong教授である。6月の4、5日の2日間、場所は京畿道、水原市の成均館大学、約20人の学生、研究者にPHITS講習会を行った。成均館大学は、朝鮮時代の最高教育機関成均館を母体としており、韓国で最古の大学といわれる私立大学で、ソウルに本部、文系と芸術系、水原に理系と体育系のキャンパスがある。また、水原はサムソン電子の研究開発の拠点であり、サムソン電子と成均館大学との産学連携は非常に強く、学生の援助、共同研究はもとより、キャンパスの目を引く建造物は、ほとんどサムソン電子によって立てられたものだそうだ。また、水原市の中心市街地には、ユネスコ世界文化遺産に登録されている「華城」という城壁に取り囲まれた城郭都市が残っている。これは、18世紀末期、李氏朝鮮時代に建設されたもので、現在でも多くの施設が当時の姿のまま保存されている。講習会の後、1周約6Kmの城壁を1周し、城壁内の古い建造物や庭園、また城壁外に見える近代的高層ビル群とのコントラストを楽しむことができた。



韓国、水原、「華城」

2010年は、PHITS講習会がこの水原を含め多数行われた年になった。これも、PHITSを利用したいという要望が各分野から多数寄せ

られた結果である。筆者が参加した講習会だけでも、この6月の水原、7月の筑波大学、8月の恒例のJAEAのPHITS講習会、9月の大阪大学核物理研究センター、10月のSNA+MC2010国際会議、11月のストックホルムのMC2010国際会議、その他にもJAEAのPHITSグループが北海道大学、九州大学、韓国のポハンで行われたアジア連携加速器科学ワークショップ等で講習会を行っている。一年間の講習会の回数、また、参加受講者数とも過去最高であった。

4. SNA+MC2010

10月17～21日まで東京の一橋会館で行われたSNA+MC2010は、原子力分野のスーパーコンピューティングの会議SNA (Supercomputing in nuclear application) と、モンテカルロシミュレーションの会議MC (Monte Carlo) が合同で開催した国際会議であり、27カ国から378名の参加があった。SNAの分野では、炉物理、熱流動計算、核燃料、原子炉構造材料等についての研究成果、また、原子力という複雑・複合系を取り扱うことから、マルチスケール・マルチフィジックスシミュレーション手法についての発表が行われた。MCの分野では、モンテカルロ計算手法、PHITS等のコード開発、モンテカルロ法によるアプリケーションにおける最新の研究成果、特に医療分野でのシミュレーションの応用、ナノ・ドジメトリとそれに関連した研究の発表が多かった。SNAとMCの共同開催は今回が初めてであったが、計算科学から原子炉・燃料の解析、放射線の生体への影響に至る幅広い分野の研究者が一堂に会し、共通の課題について議論できることが評価され、次回(2013年)もSNA+MCとして開催することが決まった。

PHITSにとって、この国際会議は、特にMCの会議は感慨深い会議である。というのは、前回のMCの会議(MC2005)は、5年前

に米国のチャタヌーガで行われたのであるが、プレナリーセッションとして、世界の5大統合コードを一堂に集めるという企画がなされた。そのひとつとして、MCNP、MCNPX、FLUKA、GEANT 4 と肩を並べてPHITSが選ばれ、PHITSの本格的な国際的なデビューとなったからである。東北大の中村尚司先生の御尽力で獲得したこの絶好の機会に、筆者も相当力を入れて発表したことを覚えているが、前回の会議では、PHITSを利用した応用研究の発表はほとんどなかった。しかしながら、あれから5年、今回の会議では、もちろん筆者は、Event Generator、Correlated source、マイクロドシメトリックな新しいタリー関数等、この5年間のPHITSの進展について報告したのであるが、PHITSを用いた応用研究では、核融合炉、加速器施設、半導体のソフトエラー、宇宙工学、粒子線治療、細胞レベルでの放射線影響等、幅広い領域で数多くの発表がなされ、この5年の発展を思うと感無量であった。

またこの会議では、会議の前後に統合コード、FLUKAとPHITSの講習会が行われた。PHITS講習会には70名を越える希望者があったが、会議閉幕後のスケジュールだったため、実際の参加者は約30名と少なかったのが残念であった。それでも、多くの海外の研究者にPHITSの機能や利用の仕方を具体的に実演で示せたことは大変有効であった。また終了後、日本の居酒屋でPHITSの開発者とFLUKAの開発者の交流の場をもてたことも楽しい思い出である。

5. MC2010

この会議は、前節の会議の名前の後半と同名であり紛らわしいが、全く別種の会議である。ただ、MCは同じMonte Carloなのでますます紛らわしいが、正式な名称は、An international workshop in Monte Carlo computational methods in radiation track

simulation and applications in physics, biological, and medical sciences で、対象は、ミクロな領域での荷電粒子や電子の振る舞い、また物理学、生物学、医療でのその応用である。2回目となるこの会議は、11月9～12日、スウェーデンのストックホルムで、17カ国、約100名の研究者を集めて行われた。主なスポンサーは、スウェーデン王立科学アカデミーである。このアカデミーは物理学、化学、経済学のノーベル賞の選考を行う母体であり、会議の会場も、ノーベル賞の選考を行うスウェーデン王立科学アカデミーの古い建物で、落ち着いた雰囲気の中で会議が進められた。ただ、北欧であり季節柄、着いた日から雪と曇りで、滞在中太陽が顔を出したのは数時間だけであった。



スウェーデン王立科学アカデミー

会議の中心はミクロな領域での荷電粒子の輸送のモンテカルロシミュレーションであるが、応用となると、特に医療関係では、マクロな領域とミクロな領域を結び最終的な観測量をシミュレーションする必要があるので、所謂、マルチスケールのシミュレーションとなることが多い。この点に関して、筆者はPHITSの全体的な状況を報告し、JAEAの佐藤達彦氏が、新たにPHITSに導入したミクロとマクロをつなぐ方法論とその応用例を発表した。これは、生物の放射線影響評価の新しい指標を与えるものとして注目を集めた。



ストックホルムでのPHITS講習会の様子

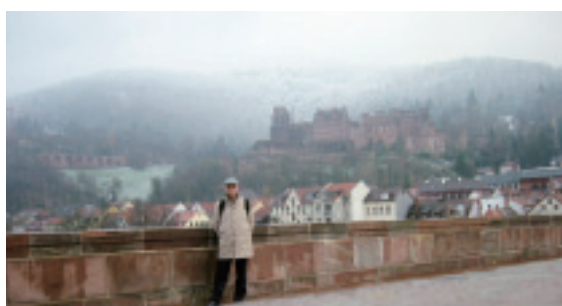
この会議でも、統合コードの講習会が行われた。MCNP5とPHITSがコースを行い、MCNP5のコースには9名、PHITSコースには23名の参加者があった。特にPHITSコースは、丸一日のコースで、医療現場の研究者が多数参加したため、熱のこもった講習会となった。

6. IAEA、CRP研究調整会議

RISTは、2007年からIAEAの核科学と応用部門（核データセクションと保健物理ディビジョン）が進めている「放射線治療のための重荷電粒子相互作用データ」という協力研究計画（CRP：Co-ordinate Research Project）に参加している。このプロジェクトに基づく研究調整会議（RCM：Research Coordination Meeting）は、2007年にウィーン、2009年にイタリアのカタニアで、そして今回は、11月23～26日の日程で、ドイツ、ハイデルベルグ大学病院の重粒子線治療センターで行われた。ドイツでは、GSIで炭素線を使った粒子線治療が行われてきたが、2009年ハイデルベルグに病院並立の炭素線治療施設を建設し、治療はハイデルベルグに移行している。

このIAEAのプロジェクトでは、粒子線治療のための荷電粒子（陽子と炭素）核データの標準化を目指し、共同研究者は、粒子線治療で使われる統合コード、PHITS、FLUKA、GEANT4の開発者、核反応理論の研究者、医

療現場の研究者、核データの専門家である。これらの研究者が集い、粒子線治療のより良い発展のために、粒子線治療の現状の把握、必要となる核データ、既存のデータから標準になるデータの選別、また、理論計算やシミュレーションの現状、実験値とのベンチマークや感度評価、等を議論してきた。今回は最後の会合であり、最終のレポートのためのまとめの議論を行った。レポートは2011年の中ごろにはIAEAから出版の予定である。



ハイデルベルグ城

この会議の前日11月22日に、ハイデルベルグから北へ50KmのところにあるダルムシュタットのGSIで、おもしろい会合を持つことが出来た。まず、このGSI（ドイツ重イオン科学研究所）は、筆者が27年前博士号取得後、初めて得たポストクのポジションで2年間滞在した場所である。初めての海外と言うこともあり、思い出深い場所で、また、20年前にドイツから帰国してから、ドイツだけは再訪した事がなかったので、今回が20年ぶりの訪問であった。次に、筆者とPHITSの主要な若手開発者、KEKの岩瀬広氏、JAEAの佐藤達彦氏の3人が偶然、この日、GSIにそれぞれ別用で滞在することが判明した。これを知ったGSIの生物物理部門のリーダー Marco Durante氏がセミナーを企画し、GSIで我々3人によるPHITSセミナーが実現した。更に、この偶然の会合を聞き知ったベルギー、Liege大学のCugnon氏とMancusi氏が、GSIに駆けつけ、済州島のND2010で議論が始

まった、彼らの新しいINCモデル（INCL4）をPHITSに導入するという協同研究の具体的な内容を決定することが出来た。偶然の機会から進展したこの日の会合は、ちょうど、この日の夜から始まったクリスマスマーケットのグリューワイン（各種の香料や果物を入れた暖かいワイン）とドイツビールと共に、夜中まで続いた。



ダルムシュタットのクリスマスマーケット

7. 2011年へ

2010年は、国内も含め国際会議出席が多い年であった。これらの会議出席は全てPHITSに関係したものであり、PHITSに対する各界からの関心が非常に高いことを示すものである。PHITSにとって2010年は、これまでの改良をまとめて、PHITS 2 としてバー

ジョン 2 が公開された区切りの年であると同時に、若手のPHITS開発者が実力をつけ、コード開発、講習会、セミナー、国際会議出席と、若手の活躍が目覚しい年でもあった。2011年もPHITSの更なる発展の年となることを期待したい。



ハイデルベルグのクリスマスマーケット