

科学と技術のための核データ国際会議 (ND2022)

(6) 教育・アウトリーチ

原子力機構
先端基礎研究センター

小浦 寛之

koura.hiroyuki@jaea.go.jp

1. はじめに

ND2022 の Education & Outreach (教育とアウトリーチ) のセッションは米国サクラメント現地時間 7 月 25 日 (月) 12 時 45 分、日本時間 7 月 26 日 4 時 45 分から始まった。Lee Bernstein (LBNL/UCB) の座長で行われた。

2. 会議の様子

発表者は Oscar Cabellos (Universidad Politécnica de Madrid -UPM マドリード工科大学、スペイン)、小浦寛之 (原子力機構、筆者)、Catherine Romano (The Aerospace Corporation - エアロスペースコープ、米国、核データワーキンググループ) の 3 名であった。欧州連合、日本、米国それぞれからの活動報告となった。

(1) 欧州連合における核データ教育

一人目の Oscar Cabellos (UPM) は「GRE@T-PIONEER: teaching the nuclear data pipeline using innovative pedagogical methods (GRE@T-PIONEER: 革新的な教育方法を使用して核データパイプラインを教える)」の題目で講演を行なった。GRE@T-PIONEER [1] とは“*Graduate Education Alliance for Teaching the Physics and safety of Nuclear Reactors*” (原子炉の物理学と安全性を教えるための大学院教育同盟) の略称であり、欧州連合 EU のユーラトム (欧州原子力共同体) の研究およびトレーニングプログラム 2019-2020 からの資金提供を受けている (Grant Agreement n° 890675)。

現在、EU 内では「原子力工学」の専門コースが段階的に廃止され、学生の登録が減少している現状があり、ヨーロッパのベース電力の 25% を提供している 100 を超える原子炉をどう維持していくかが課題となっている。そのような状況で設立された GRE @ T-PIONEER は、EU が資金提供するプロジェクトの一つであり、原子炉物理学・モデリング・原子力安全の実験と計算を広くカバーする領域に学ぶ大学院生に対するエンジニア向けの専門教育とトレーニングリソースの提供をしている。その方法はオンライン・オフ

ライン共存のハイブリッド方式であり、双方向授業・アクティブラーニングを用い、同期型・非同期型を併用した一連学習とのことである。

現在準備しているコースは6つあり、

- WP2：エネルギーおよび非エネルギー応用の核データ
- WP3：燃料セルおよび集合体レベルでの中性子輸送
- WP4：炉心設計のためのコアモデリング
- WP5：トランジェントのコアモデリング
- WP6：原子炉過渡現象、原子力安全および不確実性と感度分析
- WP7：原子力環境における放射線防護

である。このうち WP2 が核データに大きく関わっており、コースでは様々な核データコード/ライブラリを演習に利用する予定である（図1）。

WP2 コースについては初開催が2022年11月14-18日にバレンシア工科大学（スペイン）で準備されている。ハイブリッドでオンサイト20名、オンライン30名の規模とのことである [2]。なお、講師は Oscar Cabellos（マドリード工科大、発表者）、Luiz Leal（放射線防護・原子力安全研究所 IRSN）、Ian Hill（OECD/NEA）、そして大塚直彦氏（国際原子力機関 IAEA）が予定されている。発表の最後には Oscar Cabellos 自身が話者のプロジェクト紹介動画（4分、<https://vimeo.com/731780674>）も紹介された。

The WP2 on Nuclear Data



□ The WP2 ND Computational Exercise Session will cover

Training exercises for the use of freely available **nuclear databases** together with some **visualization software, processing codes, neutron transport codes** and sensitivity analysis & uncertainty quantification tools

- NJOY2016.64/NJOY21: <http://www.njoy21.io/>
- PREPRO2021: <https://github.com/IAEA-NDS/PREPRO>
- ENDF utility codes: <https://www-nds.iaea.org/public/endf/>
- Optional codes/libraries available
 - FRENDY: https://rpg.iaea.go.jp/main/en/program_frendy/
 - SANDY: <https://github.com/luca-fiorito-11/sandy>
 - TENDL/random: https://tendl.web.psi.ch/tendl_2019/tendl2019.html
- Web applications
 - NEA/JANIS: <https://www.oecd-nea.org/janis>
 - NEA/DICE: <https://www.oecd-nea.org/dice>
 - NEA/NDAST: <https://www.oecd-nea.org/ndast>
 - IAEA-NDS: <https://www-nds.iaea.org/exfor/endf.htm> and <https://nds.iaea.org/dataexplorer>
 - NNDC/BNL: <https://www.nndc.bnl.gov/exfor/endf00.jsp>
- Sources of nuclear data files
 - IAEA-NDS: <https://www-nds.iaea.org/public/download-endf/>
 - NEA: <https://www.oecd-nea.org/dbdata/jeff/jeff33/>
 - NNDC/BNL: <https://www.nndc.bnl.gov/endf/b8.0/>
- OpenMC: <https://docs.openmc.org/en/stable/>

11

図1 WP2 コースで紹介された核データコード/ライブラリ。発表者のスライドより。著者の了解を得て掲載。

(2) 日本における核図表の教育普及活動

二人目の小浦寛之（原子力機構、筆者）は「Educational activity by using nuclear chart in Japan: constructing three-dimensional nuclear chart and distributing nuclear charts through crowdfunding（日本における核図表を利用した教育活動：三次元核図表の作成とクラウドファンディングによる核図表の配布）」の題目で、日本における核図表の教育普及活動について発表を行った。

原子力機構が作成する紙版核図表は 1976 年度（当時は原子力研究所）から約 4 年に一度発行されている。筆者は 2000 年度版から作成に関わっているが、2010 年頃から核図表を用いた元素合成に関する出張講義を高校生向けを中心に始めた。大きな流れとなったのは 2013 年にナノブロック（カワダ社）を用いて作成した 3 次元核図表であり、「1 核子あたりの質量」、「半減期」、「太陽系の核種存在比」などを高さ軸に採った核図表は、原子核の性質を視覚的に理解するのに効果的である。2013 年 4 月には文部科学省情報ひろばにて 3 次元核図表を用いたサイエンスカフェ「宇宙の錬金術」を実施し、その後様々な科学イベントを行い、教育現場での講演を行う機会を得た。3 次元核図表の作成と教育活動については Physics Education (IOP) に原著論文として掲載し [3]、補足資料 (Supplemental Materials) として 3 分動画 (筆者の講演の形で 3 次元核図表を用いた宇宙の錬金術の説明) を作成した。

ND2022, Sacramento, California, USA (online), 2022



5. Crowdfunding:

Challenging for distribution of nuclear chart to high-schools



1. Purpose

- Construction of nuclear chart in JAPANESE VERSION for education in high school
- Distribution to high-school overall of Japan. especially approved as *Super science high-school*

2. Plan and Try

Projected budget: 1.5 MYen (~15,000 USD as 1USD=100Yen)
 Term of funding: Jan. 2020- Mar. 2020 (8 weeks)

- 2020, Jan.: The Crowdfunding Webpage started
- 2020, Mar.: Donation reached 1.50 MYen. *** JAEA's first success of crowdfunding**

Results: 1.731 MYen (~17,310 USD) by 157 supporters

3. Activity

Construction: 1,200 sheets of the chart written in Japanese

Distribution:

Dec. 2020 : ~150 supporters

Feb. 2021 : 284 SSH + 122 Fukushima's + 98 Ibaraki's

Apr. 2021: 57 Colleges of National Institute of Technology



Overall Japan 284

Fukushima pref. 122

Ibaraki pref. 98

Japanese version

Japanese Manual



JAEA HP




Academist™ HP

図 2 核図表配布のクラウドファンディング（発表者のスライドより）

2020年には高校に核図表を配布するプロジェクト「1校に1枚核図表を！原子核の世界観を届けたい」を開始し [4]、157名から173.1万円の寄付をいただき、全国のスーパーサイエンスハイスクールSSH（元も含む）高校（284校）、福島県・茨城県の高校（122校、98校）、および全国の高専（57校）に配布を行った（図2）。

本発表では途中3分動画を流しながら上記の教育普及活動についての紹介を行った。

(3) 米国の核データワーキンググループ NDWG

三人目の Catherine Romano（エアロスペースコープ）は「The Nuclear Data Working Group in the United States and Workshop Outcomes（米国の核データワーキンググループとワークショップの成果）」の題目で発表を行った。

Nuclear Data Working Group (NDWG) [5]は昨今の核データの高まるニーズに包括的に取り組む必要性が増大する中、2015年に設立され、米国内の国立研究所、大学、産業界が関わる多くの核データプログラム（プロジェクト）の間のコミュニケーション、コラボレーション、調整、および優先順位付けを目的として活動している。2022年7月現在、NDWGのリストでは46名のメンバー、17のプログラム、10の国立研究所が参加している（図3）。

| NDWG Roster as of July 2022 | | |  46 Members 17 programs 10 national laboratories | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------------|--|--------------------|
| PARTNERS | NDWG Member | Organization | LAB | NDWG Member |
| DOE/SC/Nuclear Physics | Lee Bernstein Catherine Romano | LBNL Aerospace Corp | ANL | Filip Kondev |
| NNSA/DNN R&D/PD | Fredrik Tovesson | ANL | ANL | Guy Savard |
| NNSA/DNN R&D/Forensics | Todd Bredeweg Jason Burke | LANL LLNL | BNL | Alejandro Sonzogni |
| NNSA/DNN R&D/SNDD | Ron Soltz | LLNL | INL | Sebastian Schunert |
| NNSA/Nuclear Criticality Safety Prog. | Mike Zerkle Marco Pigni | NNL ORNL | LANL | Mark Chadwick |
| NNSA/Naval Reactors | Mike Zerkle | NNL | LANL | Robert Little |
| NNSA/Defense Prog. | Jo Ressler Shea Mosby | LLNL LANL | LBNL | Brian Quiter |
| NNSA/Defense Prog. | Nathan Gibson Robert Casperson | LANL LLNL | LBNL | Bethany Goldblum |
| DOE/Nuclear Energy | Matthew Jesse | ORNL | LLNL | Teresa Bailey |
| NRC | Will Wieselquist | ORNL | LLNL | Tim Rose |
| NNSA/Office of Nuclear Forensics | Corey Keith Chris Krenn | LANL LLNL | ORNL | Mike Dion |
| DOE/SC/Isotope Office | Etienne Vermeulen | LANL | PNNL | Stephanie Lyons |
| NNSA/Emergency Response | John Koglin Pete Jaegers | LLNL LANL | PNNL | Bruce Pierson |
| NIST | Brian Zimmerman | NIST | SNL | Pat Griffin |
| US Nuclear Data Program | Dave Brown | BNL | SNL | Phil Dreike |
| NNSA/Nuclear Safeguards and Security | Young Ham | Tech Advisor | SRNL | Kalee Fenker |
| Missile Defense Agency/Rad Hardness | Courtney Matzkind | MDA | SRNL | Chris McGrath |
| | | | AT LARGE MEMBERS | |
| | | | Jim Koster | LANL |
| | | | Patrick Talou | LANL |
| | | | John Engle | Univ. WISC |
| | | | Teresa Bailey | LLNL |
| | | | Morgan White | LANL |

図3 NDWGのプロジェクトのリスト（2022年7月現在）。発表者のスライドより。著者の了解を得て掲載。

主な活動は Workshop for Applied Nuclear Data Activities (WANDA)と呼ばれる年会の開催を通して報告されている。

2015 年 5 月 (LBNL) : Nuclear Data Needs and Capabilities for Application

2016 年 4 月 (Washington DC) : Nuclear Data Exchange Meeting: 5-year, plan to address high-priority cross-cutting nuclear data needs

2018 年 1 月 (Washington DC) : Nuclear Data Roadmapping and Enhancement Workshop

2019 年 1 月 (Washington DC) : Workshop for Applied Nuclear Data Activities (WANDA2019)

2020 年 3 月 (Washington DC) : Workshop for Applied Nuclear Data Activities (WANDA2020)

2021 年 1-2 月 (Virtual) : Workshop for Applied Nuclear Data Activities (WANDA2021)

2021 年 6 月 (Virtual) : Workshop for Nuclear Data for Reactor Antineutrino Measurements (WoNDRAM)

2022 年 2-3 月 (Virtual) : Workshop for Applied Nuclear Data Activities (WANDA2022)

Over \$50 Million NDIAGW FOA Funded Projects Since 2018

| FY start | Title | Lead | PI |
|----------|--|----------------------|------------------------|
| FY18 | Novel Approach for Improving Antineutrino Spectra Predictions for Nonproliferation Applications | ANL | Kondev, Filip |
| FY18 | Improving the Nuclear Data on Fission Product Decays at CARIBU | ANL | Savard, Guy |
| FY19 | Independent Fission Product Yields from 0.5 to 20 MeV | LANL | Winkelbauer, Jack |
| FY19 | Energy Dependent Fission Product Yields | LLNL | Tonchev, Anton |
| FY19 | Measurements of Independent Fission Product Yields | LANL | Duke, Dana |
| FY19 | Beta-strength function, reactor decay heat, and anti-neutrino properties from total absorption spectroscopy of fission fragments | ORNL | Rykaczewski, Krzysztof |
| FY19 | Integral Measurements of Independent and Cumulative Fission Product Yields Supporting Nuclear Forensics and Other Applications | LANL | Bredeweg, Todd |
| FY19 | Evaluation of Energy Dependent Fission Product Yields | LANL | Kawano, Toshihiko |
| FY19 | Improving the double-differential $^{238}\text{U}(n,n'\gamma)$ cross section using neutron-gamma coincidences | LBNL | Bernstein, Lee |
| FY20 | Scoping Study of the Impact of (α,n) Reactions and Yields of Nonproliferation Applications | ORNL | Romano, Catherine |
| FY20 | Assessment of Nuclear Data Needs for Neutron Active Interrogation | ORNL | McConchie, Seth |
| FY20 | Fission product yield measurements using ^{252}Cf spontaneous fission and neutron-induced fission on actinide targets at CARIBU | ANL | Savard, Guy |
| FY20 | Modernization and Optimization of the Evaluated Nuclear Structure Data File | BNL | McCutchan, Elizabeth |
| FY20 | $^{238}\text{U}(p,xn)$ and $^{235}\text{U}(d,xn)$ $^{235}\text{-}^{237}\text{Np}$ Nuclear Reaction Cross Sections Relevant to the Production of ^{236}gNp | LBNL | Bernstein, Lee |
| FY21 | Neutron Scattering Cross Sections: (n,n') , $(n,n'\gamma)$, and (n,γ) Measurements | USNA | Vanhoy, Jeff |
| FY19 | State-of-the-art Gamma-ray Spectroscopy to Enhance the ENSDF | BNL | McCutchan, Elizabeth |
| FY22 | Gamma Rays Induced by Neutrons | BNL | Brown, Dave |
| FY22 | White-source neutron-gamma coincidence measurements of gamma production cross sections at LANSCE | LANL | Kelly, Keegan |
| FY22 | Evaluation of Gamma-ray Production | LANL | Kawano, Toshihiko |
| FY22 | β -energy spectral shapes in fission products affecting reactor decay heat and anti-neutrino flux | ORNL | Charlie Rasco |
| FY22 | Two and Three-body Photodisintegration of the Triton at Energies Below 30 MeV | Duke Univ | Calvin Howell |
| FY22 | Designing Nuclear-data Measurements that Resolve Discrepancies in Existing Data | LANL | Denise Neudecker |
| FY22 | Modern Structure-based Nuclear Data Evaluations for Basic Science, Nuclear Safety & Security | LANL | Mark Paris |
| FY22 | Solving the ^{56}Mn puzzle | Univ. of Mass-Lowell | Marian Jandel |

図 4 : NDIAGW FOA リスト(2018 年以降)。発表者のスライドより。著者の了解を得て掲載。

2015 年には 76 名の参加者だったのが WANDA2020 では 160 名以上、バーチャルの WANDA2021 では 350 名以上の参加者となる。プロジェクトの優先度および予算付けに

関わっており、核データに関わる各機関、大学などにとって重要性を増している会合であることが伝わる。

なお、米国での予算付け自身は Nuclear Data Interagency Working Group (NDIAWG、核データ省庁間ワーキンググループ) の Funding Opportunity Announcement (FOA, 予算調達の発表) によって決定される仕組みである。NDWG は予算の根拠となる NDIAWG と密接に関わりながら活動を行なっていることを紹介していた (図 4)。

NDWG のワークショップで提案されるトピックス (研究プロジェクト) には予算が付くものと付いていないものがあり (発表でもその辺りが強調されていた)、研究プロジェクトが競争の結果決定されるというプロセスの一端を知ることができた。

3. おわりに

筆者が ND2022 に Education & Outreach で発表することになったのは大塚直彦さん (IAEA) に勧められたからである。今まで参加したのとは随分と違うセッションであったが、国内の核図表の活動を紹介する良い機会を得、同時に EU の核データの教育への取り組み、および米国の核データコミュニティ全体の様子を知る機会となった。大塚さんに感謝したい。

参考文献

[1] GRE@T-PIONEER プロジェクト URL: <https://great-pioneer.eu/>

[2] WP2 コースへの登録は URL: <https://great-pioneer.eu/register/>

[3] H. Koura, Educ. Phys. **49**, 215 (2014).

URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9120/49/2/215>

[4] クラウドファンディングプロジェクト「1校に1枚核図表」を！ 原子核の世界観を届けたい

URL: <https://academist-cf.com/projects/169?lang=ja>

[5] 核データワーキンググループ NDWG URL: <https://www.nndc.bnl.gov/ndwg/>