

## アジア太平洋地区における中等学校NST教育の 新たな展開と日本の役割

飯本武志<sup>1\*</sup>、高木利恵子<sup>2</sup>、掛布智久<sup>3</sup>、戸田武宏<sup>4</sup>、高橋 格<sup>5</sup>、  
若林源一郎<sup>6</sup>、飯塚裕幸<sup>7</sup>、真壁佳代<sup>5</sup>、小足隆之<sup>8</sup>

アジア太平洋地区における中等学校NST（原子力科学技術）教育の最近の動向を紹介した。IAEAはNST人材育成に関する技術協力プログラム（同地区における中軸教員を育成し、地域の標準的なNST教育カリキュラムの策定を目指す。第Ⅰ期2012～2016年、第Ⅱ期2018～2021年）を主催している。併せて、このプログラムにおける日本の役割と、著者らTeam JAPANが現在取り組んでいる関連の研究開発状況を紹介した。フィリピン、インドネシア、マレーシア、タイ、スリランカ、ヨルダン6か国における公式パイロット活動からのフィードバックを活かし、Team JAPANは独自にさらなる教育ツール、モジュールの開発に視野を広げている。大視野ベルチェ冷却式霧箱、教育用次世代型環境放射線サーベイメータ、教育用工作式簡易放射線計数管、自然物質を材料とした放射線源、等が主な開発事例である。学校現場に適した教育用ツールや放射線源を、どのように入手し、上手にかつ安全に扱うかが、今後の重要な検討課題となろう。

キーワード：原子力科学技術（NST）教育、放射線教育、中等学校、アジア太平洋地区、  
IAEA技術協力プログラム（TCP）

### 1. 緒言 —経緯と現況—

国際原子力機関（IAEA）が主宰する「アジア／太平洋地域の持続性と国立原子力研究機関のネットワーク化支援活動の技術協力プログラム（TCP：第Ⅰ期2012～2016年（課題番号RAS0065）、第Ⅱ期2018～2021年（課題番号RAS0079）」に、著者らは産学官連携 原子力人材育成ネットワーク（JN-HRD.net）を通じてTeam JAPANとして参画している<sup>1)</sup>。中高生レベルのSTEM（科学技術ST・工学E・数学M）教育プログラムに、WOW factor

（注. ロングマン現代英英辞典ではこの語を「an interesting, exciting, or unusual feature of something, that people will notice and think is very impressive」と解説。STEM教育の効果を高めるための重要な因子のひとつで、参加者に驚きや感動、新たな発見の機会を提供し、思わず「ワオ!」と言わせてしまうような要素。）をキーワードとした新たなアプローチでNST（原子力科学技術）の内容を導入する試みである。具体的には、(1) NST分野の先進的な加盟国（日本、米国、豪州、英国等）の経験や知見を基に教育モジュールや教材、さらにはそれらの経緯や背景の解説を関係者で共有するための冊子（コンペンディウム：2018年中にIAEA公式サイト上で公開予定）を策定し、(2) 掲載内容のアジア諸国における学校現場への適用性を評価し、最終的には(3) 地域の標準的なNST教育カリキュラムの策定を目指すパイロット活動である。大きな特徴は原子力・エネルギー開発関連省庁のみならず参加各国の教育関連省が本活動に強く関与している点にある。フィリピン、インドネシア、マレーシア、タイ、スリランカ、ヨルダンの6か国がこれまでに公式のパイロット国に選ばれ、2018年の後期にはオマーンとモンゴルの追加参画が予

2018年7月9日 原稿受付、2018年9月11日 受理

1 東京大学環境安全本部

2 エネルギー広報企画舎

3 (公財) 日本科学技術振興財団

4 (有) ラド

5 (一財) 日本原子力文化財団

6 近畿大学原子力研究所

7 東京大学工学系・情報理工学系等環境安全管理室

8 日本原子力発電株式会社

\*iimoto.takeshi@mail.u-tokyo.ac.jp

DOI : 10.11162/daikankyo.18C0701

©2018 Academic Consociation of Environmental Safety and Waste Management, Japan



図1 Regional Workshop on Curriculum Development and Launching of Nuclear S&T for Secondary Schools  
(2018年2月フィリピンマニラ開催)

定されている。いずれの国でも従前からの中等教育（日本では中学校、高等学校に相当）の必須項目には系統的なNST分野はなく、選択教科の中でわずかに扱われているに過ぎなかった。このような背景で、原子力のエネルギー利用のみならず、医療、農業、工業分野等でNSTが果たす多様な役割を、原子力災害の経験や放射線リスクなどの弱点と共に広く教育することを目的に、各国の状況に見合う教育プログラムの策定に各々のパイロット国がチャレンジをしている。2018年2月にマニラで開催された第Ⅱ期のキックオフ会議（図1）で、主たる教育対象を高校2年生相当に設定することが決まり、「4年間、100万ユーロの資金で最低100万人のNST教育」を目指し、現在はさらなる教育展開のための各国における中核教員（Star Teachers）の育成に力点を置いた活動が進められている。具体的には、最初の3年間で〔3回/年〕×〔20～25名/回〕×〔2週間/回〕のペースで教員育成ワークショップを開催し、その結果約200名の魅力的な中核教員が誕生することになる。彼らこそがこの国際技術協力プログラムの教育現場での中核となり、同僚にそのノウハウを自主的に普及することが期待されたメンバーである。この流れの中で2019年2月中下旬には、筆者らTeam JAPANがホストとなって、外務省と文部科学省の後援を受け、東京大学（本郷、東海）および日本原子力研究開発機構（東海）等を会場に、日本でも教員育成ワークショップを開催する予定である。

次項以降では、このような背景での日本の貢献と役割を解説し、現在開発中の教育ツールやモジュールの代表例を紹介する。

## 2. IAEA技術協力プログラム (RAS0065/0079) への日本の貢献と役割

コンペンディウムで紹介された我が国からの事例紹

介のひとつに、「2時間放射線教育モデルモジュール（座学+霧箱実験+「はかるくん（教育用放射線サーベイメータ）<sup>2)</sup>」実習）」がある。一連のIAEA技術協力プログラムでは、前述の通りWOW factorを教育モジュールにどのように盛り込むかが大きなポイントとなったが、このモジュールでは簡単な放射線実験実習を組み込んだ点はそのひとつの解になっており、座学のPart I（約1時間）と放射線実験のPart II（約1時間）の2部構成である。座学では、事前に提示されたキーワード群（身のまわりの放射線、放射線の利用、放射線と放射能、単位（BqとSv）、放射線リスク（人体影響）、放射線の防護等）の中から、教育実施の目的に応じて3～4つに大胆に絞り込むことが重要といえる。実験では、霧箱実験と「はかるくん」を用いての環境放射線測定を実施する。現場の教員には、霧箱のためのドライアイスの準備、簡易霧箱の組立て、暗室の用意などバックヤードでの人手や作業の手際よさが求められる。そのイメージを中核教員がつかむことが重要であり、我が国で培われた実習にかかるすべての工程（準備、実施、片付けを含めて3時間程度）と工夫を、実地でもれなく伝授した（図2）。

これまでに公式パイロット国の6か国すべてが、コンペンディウムで紹介された多くの事例<sup>3)</sup>（米国の土曜科学大会（S. O. S）、女子生徒のための科学技術工学プログラム（POWER SET）、豪州の現実かフィクションか（FACT or FICTION）など）の中から、この2時間放射線教育モジュールの試験導入を決めた。いずれのパイロット国も日本提案モジュールを中核に据え、米国や豪州等のモジュールと組み合わせる魅力と教育効果を高める工夫をしている点が注目に値する。我が国において関係者が築いてきた歴史ある放射線教育プログラムと関連教材（テキスト、動画、実験用具）の質の高さ、現場における取り組みやすさが国際社会の中

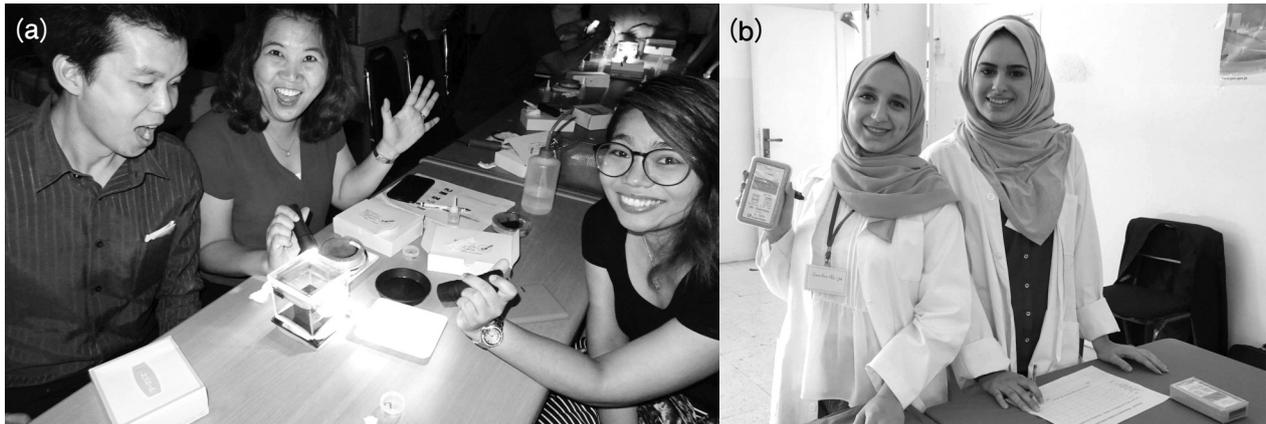


図2 (a) 霧箱実験(タイ) (b) 「はかるくん」実習(ヨルダン)

で改めて評価され、存在感が際立った印象となっている。2018年後期に参画予定のオマーン、モンゴルからもIAEA事務局を通じてTeam JAPANへのこのモジュールに関する技術支援要請が届いており、各国からの期待は引き続ききわめて大きいと感じている。

Team JAPANは、この技術協力プログラムを通じて我々がすでにもつ経験や工夫を彼らに伝承するだけでなく、各国の関係省庁の関係者、放射線や原子力、リスクコミュニケーション分野の専門家、プログラムに参加した教員等との意見交換を積極的に行ってきた。彼らからのフィードバックに基づき、NST教育のひとつに位置づけられる放射線教育のための新たなツールやモジュールの開発にも取り組んでいる。アジア太平洋地区に属する各国メンバーの文化や要求、独特な事情に適合し、すぐに活用できるツールやモジュールである。次項ではその一部の開発状況を紹介する。

### 3. Team JAPANが開発中の放射線教育用ツールの事例

#### 3.1 大視野ペルチェ冷却式霧箱

霧箱は、過飽和状態のアルコールの中を放射線が通った際にできる白い筋を「飛跡」として観察することのできる、原理的には大変に長い歴史をもつ実験装置である。観察面を約 $-20^{\circ}\text{C}$ 以下に冷やす必要があるが、いくつかのアジア太平洋諸国では、ドライアイスの入手や取り扱いに大きな困難があることがわかった。また、代替候補として挙げられたペルチェ冷却式の霧箱は、その冷却能力の低さから観察面が小さいものが多く学校現場では使いにくかった。これを克服するため、観察面周囲の断熱構造や白い筋を照らす照明などを工夫することにより、広い観察面( $\Phi 75\text{ mm}$ )を有するペルチェ冷却式霧箱を開発した(図3(a))。

ペルチェ素子の冷却面の上に薄いアルミ板を張り付けて観察面とし、この観察面が周囲から熱を奪わない

よう断熱構造とした。観察面周囲を多重の仕切られた空間と側壁で覆う設計とし(図3(c))、この構造の実現には3Dプリンタを用いている。この装置で、起動から約3分での飛跡観察を実現し、かつ $31\sim 44\text{ cd}$ の超高輝度LEDを導入することで、暗室が不要になった。この装置で $\alpha$ 線だけでなく、 $\beta$ 線なども観察可能である(図3(b))。

WOW factorの原動力として霧箱は大変に人気が高く、ドライアイスが不要である特徴は、アジア太平洋諸国のみならず、学校現場での実験のしやすさを格段に向上させた。

#### 3.2 教育用次世代型環境放射線サーベイメータ

これまでのアジア太平洋諸国でのパイロット活動を通じて、筆者らはサーベイメータの小型化や低コスト化に関する多くの要望を受けた。日本における新しい学習指導要領(2016年公開、2021年導入)<sup>4)</sup>の記述に、ICT(Information and Communication Technology)の活用が謳われていることも併せて勘案し、筆者らは教育現場での利用に特化した次世代型環境放射線サーベイメータ(KIND-mini(プラスチックシンチレータ利用:初等中等教育用)、KIND-pro(CsI(Tl)シンチレータ利用:中等高等教育用))を開発中である。KIND-miniではワンタッチでの線量・計数率の表示のみを標準とし、比較的若年層をユーザーに想定して、取り扱いの簡便さを最優先するために放射線計測器としての機能を最小限に抑えている。一方KIND-Proでは感度の向上を図ると共に積分時間の変更や信号の出力を可能にするなど、多岐にわたるユーザーの使用形態、教育目的に応えるための多くの追加的な機能を標準実装している。教育現場にICTを導入する流れは、アジア太平洋地区の他の諸国へも早い時期に広がっていくはずで、これらの次世代型サーベイメータはその一助になると確信している。たとえば、KIND-miniは $\gamma$ 線を2チャン

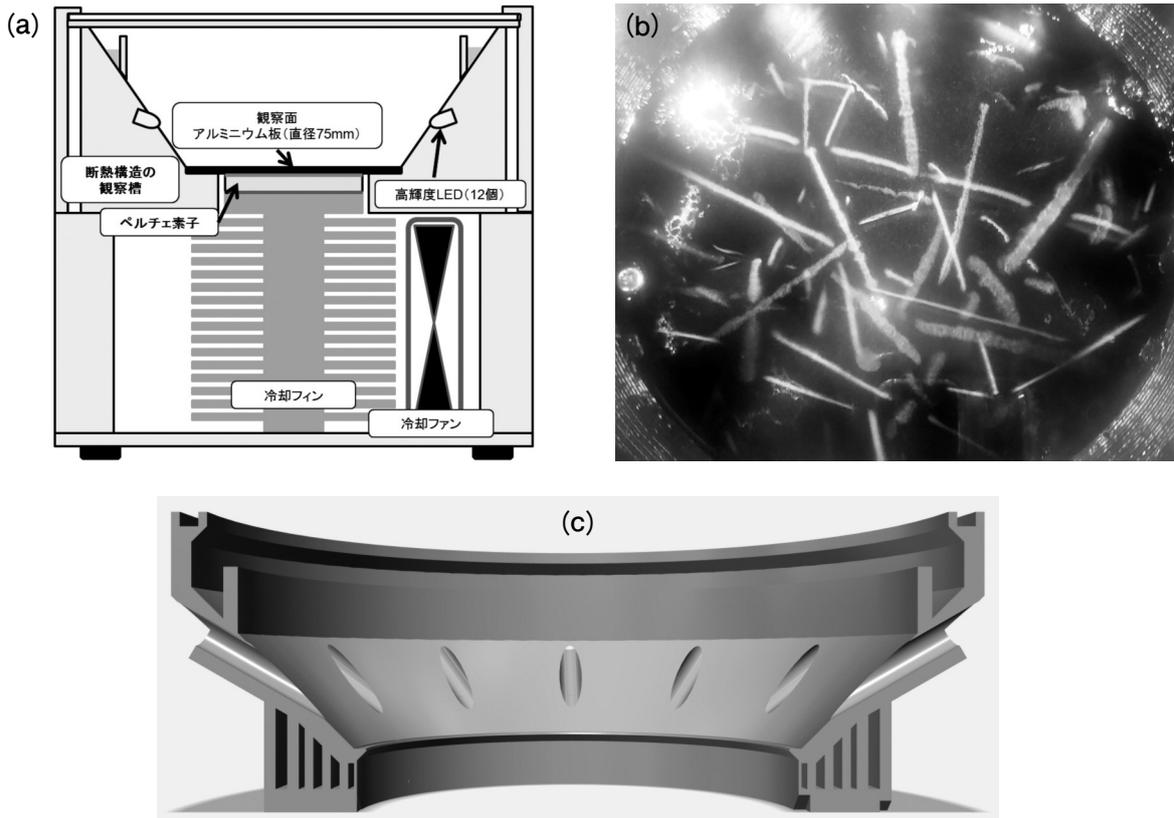


図3 大視野ベルチェ冷却式霧箱  
(a) 概観 (b) 飛跡 (c) 観察面断熱構造

ネル (700 keVが区切り) で検出するプラスチックシンチレータを検出器にもち、直近の電子技術と組み合わせることで、従前のCsI (Tl) シンチレータ式 (はかるくん)<sup>2)</sup>と比較して感度は若干落ちるものの、小型化と低コスト化の観点で抜群の効果が発揮された。計測器重量は従来機の3分の1、体積は4分の1、価格は約半分にまで低減できた。KIND-Proで標準装備となる付属するソフトを使って、パソコン側でそれぞれのチャンネルの計測数 (実数) が確認でき、CSV出力も兼ね備えたことから、生徒自らの手で環境放射線の測定結果を表や図にまとめることもできる。放射線計数から環境放射線の量 (1 cm線量当量) への換算についても学習できるよう、教育モジュールとしての配慮も可能である。この装置をGPSロガー、ゲーグルマップ等と併用することによって、新幹線、自動車、船などの大きな移動に伴う環境放射線量の変化を地図上で確認することができよう。その他、1日の積算 (または年間の予測) など、生徒が自ら考え仮説検証するために、従来機のオールイン (過程がブラックボックス) ではなく、それぞれの情報を取捨選択し、表や図にまとめて発表することができる点が、ICTと連動して新たな教育展開が期待できるポイントである。

### 3.3 教育用工作式簡易放射線計数管

一般に広く知られている「空気+ブタン」系の「大気圧空気GM管」の仕組みを基盤にして、児童でも自力で工作できることをコンセプトに、新しい教育用簡易放射線計数管を開発した (図4)。放射線測定器としての基本構成は、蓋付きの円筒形透明プラスチックケースを計数管容器、ステンレス鋼の細線をアノード (ユニット化)、黒画用紙をカソードとして設置し、安全性に配慮したプラグ・イン方式を採用、高圧電源には最高6000 Vの可変電圧を用意した。教育の目的や参加者の知識や技術の到達レベルに応じて、必要に応じて放射線計数管の各要素の製作や組み立て作業を教育プログラムに加えることができる。計数管内に10%のブタンを注入した後に蓋をして動作させ、放電の電流を抵抗によって電圧に変えたパルスをクリスタル・イヤホン (またはアンプとスピーカ) で計数音として認識する。中等学校の後期レベルでの計数計測実験では、この出力信号をパソコンやスマートホンなどに入力し、デジタル処理後、計数率やその波高分布を視覚的に表示することで、計数原理を考察させることまでを想定している。この自作タイプの放射線計数管では元来、GM計数方式を設計のベースにしていたが、現在までの研究では、制限比例または比例領域の計数方式にま

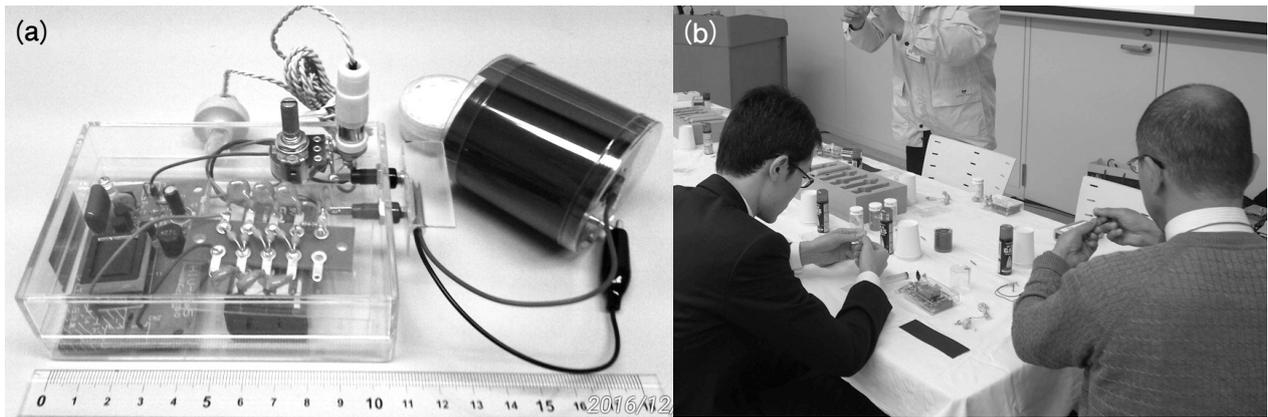


図4 学校教育用工作式簡易放射線計数管  
(a) 外観 (b) 日本国内教員研修での試験運用

で計数機構が及んでいる傾向が観測されている。アジア太平洋地区のパイロット国におけるNST教育での活用を目指して、児童・生徒あるいは教員などの各階層に応じた教育モジュールやコンテンツも併せて開発中で、現在、日本国内での実際の授業や教員研修などで試験的に使用し、ハード・ソフトの両面からの改良、分析を継続中である。

### 3.4 自然物質を材料とした放射線源

自然起源の放射性物質はNORM (Naturally Occurring Radioactive Materials; ノルム)<sup>5)</sup>と呼ばれている。身のまわりのすべての物質には、多かれ少なかれ自然起源の放射性核種 ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ など)が含まれているので、広義には「すべての物質がNORM」ということもできる。

教育現場からの強い要望として「どこでもだれでも使用できる、実験用の放射線源はどこかにないか」がある。人工放射線源の使用には、原則、厳しい法的

要件が課される「放射線管理区域」の設定が求められるため、学校現場での実験としてはなじみにくく、定着しにくい現状がある。この状況を打破するひとつの案として、カリウム肥料や乾燥コンブなど、自然起源の比較的放射能濃度の高いことが知られている身近な物質を、教育実験用の放射線源として使用できないかがこの項目に関する研究開発の動機である。

図5 (b) に示された線源圧縮成型機を用い、面当たり16トン相当の荷重をかけることで、理科実験用の塩化カリウムや食用昆布ふりかけ、放射能温泉の湯の華などの粉末を厚めの500円玉型の線源にすることができた(図5 (a))。各線源の放射能濃度の例として、順に、17 Bq/g ( $^{40}\text{K}$ )、3 Bq/g ( $^{40}\text{K}$ )、7 Bq/g (トリウム系壊変生成物1核種当たり)程度が得られている。これはベータ線源としては端窓型のGM計数管であれば基礎的な放射線実験上に必要となる十分な計数が期待できるレベルで、各種材料の放射線遮蔽実験、放射線の距離減衰実験などが可能である。現在は、コーヒー豆や減塩し

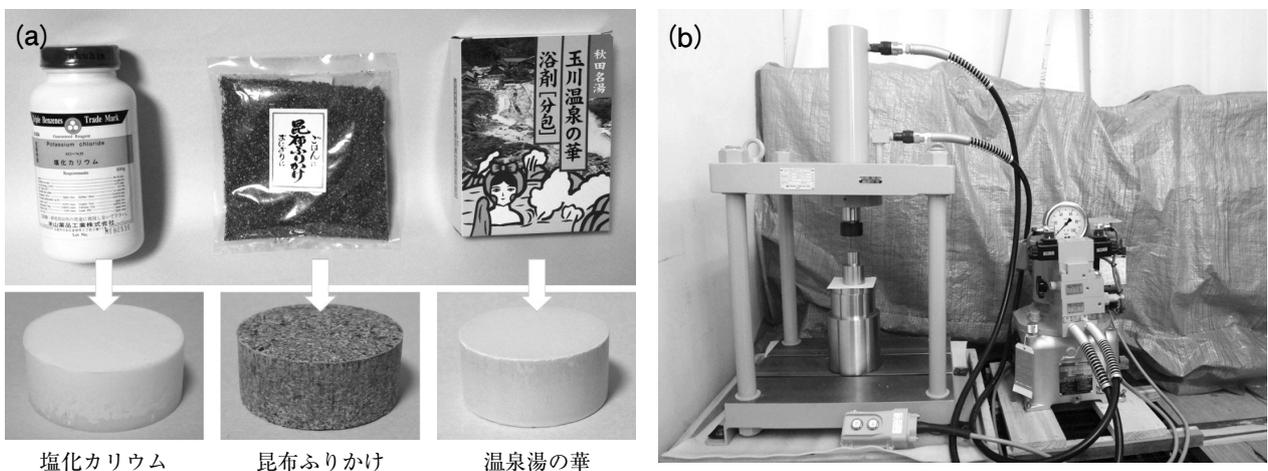


図5 (a) 自然起源放射線源の例 (b) 線源圧縮成型機

おなどの新たな線源の可能性と、この種のコイン型自然線源の量産化に関する検討を進めている。

#### 4. 結言 一まとめと課題一

本稿では、アジア太平洋地区における中等学校NST教育の最近の動向を紹介すると共に、IAEAが主催する同地区における技術協力プログラムのなかでのこれまでの日本の役割と各国からいただいている期待を整理し、その活動の経緯で著者らTeam JAPANが現在取り組んでいる関連の研究開発状況を紹介した。一般的な国際技術協力プログラムでは一方通行になりがちところを、我々Team JAPANはパイロット国からのフィードバックを活かし、さらなる教育ツール、モジュールの開発に視野を広げている点に、本活動の大きな特徴があると自負している。パイロット国も、NST先進国から学んだものをそのまま導入するにとどまらず、自国の歴史、文化、環境、教育の目的に適合した形態へと、ツールやモジュールを進化させつつある。

国によっては霧箱実験に必須となる Etaノールを宗教上の理由で入手することが大変に困難な場合がある。また、自然起源の線源であっても、放射能濃度と取り扱う物量が大きくなれば、場合によっては人工の放射線源と同様の扱いを求めるような国際的な放射線安全基準<sup>6)</sup>もある。現時点では場所やひとを選ばずに自由に利用できる自然線源が、未来永劫に現状と同じように扱えるとは限らないといえる。学校現場に適した教育用ツールや放射線源を、どのように入手し上手に、かつ安全に扱うかも、今後の重要な検討課題となろう。関係者が知恵と技術を共有し、取り組むべき課題はまだまだたくさんある。

本稿の内容は、長年にわたるNST教育及び放射線教育の実践、支援活動の成果が基盤になっており、その関係者すべてによる共通の成果である。本稿は引用参考文献<sup>1) 3) 7) -8)</sup>等を基にして、第4回ACSEL (The Asian Conference on Safety & Education in Laboratory) (シンガポール国立大学：2017年7月26～28日開催)での著者らによる「Development of Modules and Tools for Improvement of Public Radiation Literacy」のポスター発表 (ACSEL2017 Best Poster Award受賞) や、直近の関連動向、計画中の新たな情報等を追加し、再構成したものである。その活動の一部は平成25-27年度文部科学省科学研究費補助金基盤研究 (B)：研究課題番号

25282034「放射線安全文化醸成を目指した総合的な教育システムの開発」及び平成28-30年度同基盤研究 (A)：研究課題番号JP16H01813「グローバルコミュニケーションに基づく体系的リスクリテラシー構築手法の開発」によって実施されたものである。また、3.3項および3.4項の内容は、日本科学技術振興財団の尾崎哲氏および日本遮蔽技研の河野孝央博士の長年のご知見に基づくもので、Team JAPANの活動に多大なるご協力とご支援をいただいた。ここに記して、改めて二氏を含むすべての関係者に深く謝意を表する。

#### 引用文献

- 1) 飯本武志: 日本の放射線教育モジュールと実践経験が国際社会で高く評価されています, 原子力文化 2018年1月号, 12-13, 2018.
- 2) Takeshi Iimoto, Tomohisa Kakefu, Yoichi Kiyohara: History and Progress of Radiation Education Using Handy-Type Radiation Survey-Meter Named "Hakaru-Kun" in Japan, Radiation Emergency Medicine 1(1-2), 17-21, 2012.
- 3) 飯本武志, 高木利恵子, 掛布智久, 戸田武宏, 高橋格: アジア太平洋地区の中等学校における原子力科学技術教育の展望と課題, 保健物理 52(2), 107-113, 2017.
- 4) 文部科学省: 学習指導要領「生きる力」, [http://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/new-cs/index.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/index.htm), 最終閲覧2018年7月5日.
- 5) 飯本武志, 米原英典, 小佐古敏荘: 自然起源の放射性物質の存在とその安全の考え方, 安全工学 48(4), 215-221, 2009.
- 6) International Atomic Energy Agency: General Safety Requirements Part 3 (IAEA No.GSR-Part 3) Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, [https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1578\\_web-57265295.pdf#search=%27IAEA+GSR+part+3%27](https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1578_web-57265295.pdf#search=%27IAEA+GSR+part+3%27), 最終閲覧2018年7月5日.
- 7) 飯本武志, 掛布智久, 高橋格, 高木利恵子: アジアにおける放射線中等教育への我が国の経験の活用と今後の展開, RADIOISOTOPES 64(12), 745-752, 2015.
- 8) 飯本武志: 「放射線」を魅力的な科学教育のための代表的な実教材に, 放射線教育Radiation Education 18(1), 43-44, 2014.

## Challenging activities of secondary school NST education in Asia-pacific region and the role of Japan for them

Takeshi Iimoto<sup>1\*</sup>, Rieko Takaki<sup>2</sup>, Tomohisa Kakefu<sup>3</sup>, Takehiro Toda<sup>4</sup>, Itaru Takahashi<sup>5</sup>,  
Genichiro Wakabayashi<sup>6</sup>, Hiroyuki Iizuka<sup>7</sup>, Kayo Makabe<sup>5</sup>, Takayuki Koashi<sup>8</sup>

1. Division for Environment, Health and Safety, The University of Tokyo
2. Energy Communication Planning
3. Japan Science Foundation
4. RADO Co., Ltd.
5. Japan Atomic Energy Relations Organization
6. Atomic Energy Research Institute, Kindai University
7. School of Engineering Graduate School of Information Science and Technology Environmental Health and Safety Office, The University of Tokyo
8. The Japan Atomic Power Company

In this document, recent trends on Nuclear Science and Technology education (NST) in secondary schools in the Asia-Pacific region were introduced. The IAEA is hosting a technical cooperation program on NST human resource development. It aims to develop key teachers in this region, and also aims to develop a standard NST education curriculum in this region (Phase I; 2012 – 2016 and Phase II, 2018 - 2021). The role of Japan in this program and the related R&D status, which the authors, Team JAPAN, are currently working, were introduced. Feedback from official pilot activities in the six countries of the Philippines, Indonesia, Malaysia, Thailand, Sri Lanka and Jordan has been utilized, and Team JAPAN has expanded its perspective to develop new educational tools and modules. Main development examples are the Peltier cooling type cloud chamber with a large area of view, a next-generation environmental radiation survey meter for education, the simple hand-held radiation counting tube for education, and the radiation sources made of natural substances. The authors consider that how to obtain educational tools and radiation sources suitable for schools and how to handle them well and safely is an important subject for future study.

**Keywords:** Nuclear Science and Technology (NST) Education, Radiation Education, Secondary Schools, Asia-Pacific Region, IAEA Technical Cooperation Programme (TCP)