

国際原子力人材育成イニシアティブ事業成果報告書

＜課題名＞

機関横断的な人材育成事業

「原子力緊急時対応と放射性廃棄物処理・処分を支える高度人材育成事業」

＜実施機関＞

国立大学法人筑波大学

＜連携機関＞

【国内】日本原子力研究開発機構（JAEA）、量子科学技術研究開発機構、原子力規制庁六ヶ所原子力規制事務所、国立環境研究所、産業技術総合研究所、原子力発電環境整備機構、環境科学技術研究所、北海道大学、富山大学

【海外】International Atomic Energy Agency (IAEA)、Ukrainian Institute of Agricultural Radiology (UIAR, ウクライナ)、Ukrainian Hydrometeorological Institute (UHMI, ウクライナ)、University of Sheffield (英)、Durham University (英)、Colorado State University (米)、New Mexico State University (米)、Los Alamos National Laboratory (米)、ローレンス・バークレー国立研究所 (米)、Norwegian University of Life Sciences (ノルウェー)

＜実施期間・交付額＞

令和元年度 10,456 千円、令和２年度 9,482 千円、令和３年度 7,151 千円

＜当初計画＞

1. 目的・背景

前採択課題（「原子力災害による環境・生態系影響リスクマネジメント人材育成事業（平成 29 年度終了）」）では、本学が福島第一原子力発電所事故後から培ってきた研究ネットワークを活用し、旧来の原子力人材育成で不足していた、原子力災害後の環境中（オフサイト）での放射性核種の動態解析や影響評価技術を習得するための教育プログラムを構築し、環境科学分野からの原子力人材育成に取り組んだ。本課題では、これをさらに地球科学分野へ発展させ、原子力緊急時対応とともに今後の重要課題の 1 つである放射性廃棄物の処理・処分を安全に推進するために必要な地球・環境科学の基礎と応用力を併せ持つ人材育成プログラムを構築する。

育成対象は大学院生とし、プログラムは、講義を中心とした基礎コースと、講義に加えて実習・国内インターンシップを通して実践的なスキルを身に付けることのできるエキスパートコース、海外の連携機関での実習やインターンシップを通して国際感覚を身に付けることのできるグローバルエキスパートコースの 3 段階に設定することで、行政や教育機関など様々な立場から国民理解の増進を担う人材を育成するとともに、関連の研究所や企業において今後の原子力課題の解決を担うことのできる専門家を育成することを目的とする。また、これらの講義・実習等についてはオンラインコンテンツ化し、原子力人材育成ネットワークにおける共有資源とする。

2. 実施計画

上記のような人材を育成するために、令和元年度を準備期間として令和２年度より本学の大学院地球科学学位プログラム内に特別プログラム「原子力緊急時対応と放射性廃棄物処理・処分を支える高度人材育成事業」を開設し、講義 5 科目、実習 2 科目、インターンシップ 2 科目を中心とした体系的なプログラムを遂行する。

基礎コースでは各年度 10 名程度、エキスパートコースでは各年度 5 名程度、グローバルエキスパートコースでは各年 2 名程度を予定している。プログラム内の各科目は単体でも履修することができ、基礎コースの講義科目は 15～50 名程度の履修生想定している。3 年間の延べ育成人数は 500 人程度を見込んでいる。

また、令和元年度にはキックオフシンポジウムを実施し、プログラムの広報を図るとともに、プログラムの課題などを討論する。さらに、修了後のフォローアップとして、OB・OG の就職先への訪問など、プログラム修了生とのネットワークの維持向上に務める。具体的には、以下の通りである。

(1) プログラム事務局の設置・運営

放射性廃棄物の処理・処分にかかわる地球科学を専門とする助教を新規雇用し、プログラム事務局を開設するとともに、HPの整備や広報などプログラムの周知に務める。事務局は履修生および連携機関の先生方との連絡・調整を行う。とくに、国内外の連携機関との運営会議には、Web会議システムを利用し、迅速かつ密な打ち合わせを行う。

(2) プログラムの精査・実施

前プログラムの科目を精査・改善するとともに、放射性廃棄物の処理・処分にかかわる地球科学に関する講義科目「地質災害・地層環境評価論」および「国内実習」を新設する。講義5科目、国内外の実習2科目、国内外のインターンシップ2科目を中心とした体系的なプログラムを構築し、履修生への旅費支援などの全面的なバックアップのもと、円滑に実施する。

(3) キックオフシンポジウムの開催（令和元年度）

令和2年3月に国内外の連携機関の先生方を招き、シンポジウムを行うことで、本プログラムの目的や内容を学生および連携機関にピーアールする。

(4) オンラインコンテンツの作成

講義や実習の動画や資料をオンライン公開し、誰でも利用することのできる教育資源として蓄積する。

<実施状況>

令和2年度より本学の大学院地球科学学位プログラム内において特別プログラム「原子力緊急時対応と放射性廃棄物処理・処分を支える高度人材育成事業」を実施した。なお、令和元年度も前プログラムを縮小して継続実施しており、令和元年度から令和3年度までの3年間で22名のプログラム修了生を輩出した（表1）。一部の科目のみに参加した人数は、延べ355人である（表2）。プログラム修了生の多くは、日本原子力研究開発機構、新エネルギー・産業技術総合開発機構などの関連研究所のほか、日本分析センター、東京電力、関西電力などの関連企業へ就職している。

さらに、開催した講義やシンポジウム公演についてはオンラインコンテンツ化を進め、44の講義動画をHPおよびYouTubeを通じて公開した（<https://www.youtube.com/channel/UC-yKG0MwIskp0koVTikjlta/featured>）。各事業の詳細は以下の通りである。

(1) プログラム事務局の設置・運営

本プログラム専任の助教（2020年2月～）および専任の研究員（2019年11月～2020年3月）、専任の事務補佐員（2019年11月～）のほか、2020年2月より元IAEA Waste and Environmental Safety Sectionユニット長であるGerhard Proehl博士を本プログラム専任の客員教授として招へいし、連携機関の先生方と協力しながらプログラムの運営を行った。また、プログラムHP（図1）およびYouTubeチャンネル（図2）などを活用しながらプログラムの周知に努めた。



図1 プログラムHP (<https://enep.ied.tsukuba.ac.jp/>)



図2 プログラムYouTubeチャンネル

(2) プログラムの精査・実施

体系的なプログラムとして、令和2年度より以下の9科目を整備し、実施した。春 AB モジュール（4～6月）に放射性核種や過去の原子力災害の基礎から、環境中の放射性物質の動態についての基礎的な講義を行い、春 C モジュール（7月）に連携機関の非常勤講師による研究紹介を含む応用的な講義を実施する。これらの講義を受けた後、夏季休業中に国内インターンシップおよび海外実習に赴き、学修内容と実地問題の結びつきを理解するという体系になっている。基礎コースの講義5科目をすべて履修した学生をインターンシップや海外実習の旅費支援の対象者とした。ただし、令和2～3年度はCOVID-19の影響により講義はすべてオンラインで実施し、一部の実習のみ現地で行った。また、令和元年度は前プログラムの実施年であるが、前プログラム履修生および令和2年度プログラムを履修予定の学生に対し、海外インターンシップを行った。

① 環境放射能動態解析論

放射性核種や放射線の基礎から大気、海洋、森林、土壌、河川、植物などの環境中での動態、モデリング手法について解説（4～6月、筑波大学講師、75分×10回）。※COVID-19の影響によりリアルタイムオンライン形式により開催

回	テーマ	担当
1	環境中の放射性核種（1）放射性核種とは？	坂口 綾
2	環境中の放射性核種（2）原子力災害の歴史	末木 啓介
3	環境中移行・評価手法（1）大気中の放射性物質の移行	青山 道夫
4	環境中移行・評価手法（2）海洋での放射性物質の移行	青山 道夫
5	環境中移行・評価手法（3）森林中の放射性物質の移行と循環	加藤 弘亮
6	環境中移行・評価手法（4）土壌中の放射性物質とその挙動	高橋 純子
7	環境中移行・評価手法（5）河川を通じた放射性物質の移行	恩田 裕一
8	環境中移行・評価手法（6）植物への放射性物質の移行	山路 恵子
9	モデリング手法（1）植物体内での輸送	古川 純
10	モデリング手法（2）移行モデリング	羽田野 祐子

② 原子力環境影響評価論 I

日本原子力研究開発機構の講師により、機構が取り組む福島復興事業や廃棄物処理・処分事業について解説（7月初旬、連携機関講師、75分×10回）。※COVID-19の影響によりリアルタイムオンライン形式により開催

回	テーマ	担当
1	福島第一原子力発電所事故後の JAEA の取り組み	川瀬 啓一
2	放射性セシウムの吸脱着メカニズム	本田 充紀
3	高度化する無人モニタリング技術	佐々木 美雪
4	放射能マップはこうしてできあがる	阿部 智久
5	福島長期環境動態研究	新里 忠史
6	環境中の放射性核種分析方法の研究	藤原 健壮
7	原子力災害対応ロボットと櫛葉遠隔技術開発センター	山田 大地
8	燃料デブリ取り出しに向けた研究	佐藤 一憲
9	事故に由来する廃棄物の管理と放射性核種の汚染ふるまい	駒 義和
10	放射性廃棄物の処分へ向けた研究	竹内 竜史

③ 原子力環境影響評価論Ⅱ

産総研・量研機構・国環研などの講師により、事故後の環境影響評価や除染対策、環境モニタリングについて解説（7月初旬、連携機関講師、75分×10回）。※COVID-19の影響によりリアルタイムオンライン形式により開催

回	テーマ	担当
1, 2	(1)放射線の生物影響 (2)海洋における放射性核種の分布と挙動	青野 辰雄 量子科学技術研究開発機構
3, 4	環境放射線モニタリング (平常時から緊急時まで)	木村秀樹 六ヶ所原子力規制事務所
5	河川流域・ダム湖における生物利用性放射性セシウムの動態	辻 英樹 国立環境研究所
6	淡水魚と水生生物における放射性セシウムの挙動	石井 弓美子 国立環境研究所
7, 8	(1)低濃度の水中の放射性セシウムの測定手法の開発と標準化 (2)原子力災害からの環境回復プロセスと課題	保高 徹生 産業技術総合研究所
9, 10	農地土壌における放射性セシウムの挙動と農業復興への対策	信濃卓郎 北海道大学

④ 地質災害・地層環境評価論

産総研・量研機構・国環研などの講師により、事故後の環境影響評価や除染対策、環境モニタリングについて解説（7月中旬、筑波大学および連携機関講師、75分×10回）。※COVID-19の影響によりリアルタイムオンライン形式により開催

回	テーマ	担当
1, 2	(1)プレートテクトニクスと地震 (2)2011年東北地方太平洋沖地震	八木 勇治
3, 4	鉱物粒子と放射性核種の関係	向井 広樹
5	地下水の流動と放射性同位元素等の各種成分における動態	辻村 真貴
6	地質・地形から分かる過去の地震と津波	藤野 滋弘
7-10	鉱床の保存とナチュラルアナログ研究 ①放射性廃棄物地層処分と性能評価 ②ウラン鉱床の形成・保存とナチュラルアナログ研究 ③日本列島の地質環境の長期的評価 ④日本列島における鉱床の形成と保存 ⑤日本列島のウラン鉱床のナチュラルアナログ研究	小室 光世 (富山大学)

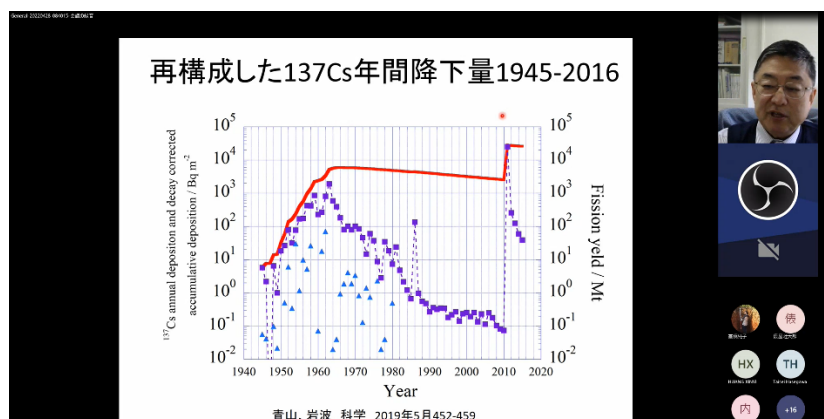


写真 オンライン講義の様子

⑤ 原子力災害特別セミナー

海外を中心に講師を招へいし、海外の原子力災害後の環境・生態系影響についての現状と課題に関する最先端の研究を紹介（英語、不定期、連携機関講師）。※COVID-19の影響によりリアルタイムオンライン形式により開催。とくに、Proehl氏の担当回ではオンライン教材を事前視聴し、分からなかったことなどの質問やディスカッションを行った。

回	テーマ	担当
1	Expected Human Health Effects from FDNPP Accident	Tom Johnson (Colorado state University)
2	Science supporting nuclear decommissioning, legacy and waste management	Ole Christian Lind (Norwegian University of Life Sciences)
3	Radioactivity in the Environment and Public Protection	Jeff Whicker (Los Alamos National Laboratory)
4	The Waste Isolation Pilot Plant: A Potential Solution for the Disposal of Transuranic Nuclear Waste	Punam Thakur (New Mexico State University)
5-10	Proehl氏のオンライン教材を用いたディスカッション	Gerhard Proehl (元 IAEA, 本学客員教授)

⑥ 国内実習

福島県内のモニタリング調査地や青森県の放射性廃棄物処理・処分関連施設を訪問し、モニタリング手法や安全評価方法およびデータ解析方法を習得。※COVID-19の影響により一部オンライン開催【令和2年度】

日時	訪問先	主な実習内容
9/24	午前 東日本大震災・原子力災害伝承館 見学 午後 福島県浪江町森林モニタリング調査地	森林内における空間線量率および放射性セシウム動態モニタリング手法および試料採取方法の習得
9/25	午前 日本原子力研究開発機構福島研究部門(富岡) 午後 福島県川俣町山木屋地区調査地	溪流・河川を通じた放射性セシウム移行調査のためのモニタリング手法の習得
9/26	午前 東京電力廃炉資料館 見学 午後 中間貯蔵施設 見学	廃炉および放射性廃棄物処理に関する施設見学
オンライン実習	福島県土壌粒子についての粉末X線回折法および走査型電子顕微鏡による解析	浪江町での採取土壌中の放射性セシウム動態の解析（鉱物粒子と放射性核種の関係について）



写真 浪江町における実習



写真 中間貯蔵施設の見学

【令和3年度】

日時	訪問先	主な実習内容
11/3	飯館村長泥地区環境再生事業 見学 福島県川俣町山木屋地区調査地 福島県浪江町森林モニタリング調査地	空間線量率および環境中の放射性セシウムモニタリング手法と試料採取方法の習得
12/22	(前泊)	
12/23	環境科学技術研究所 見学 原燃 PR センター 見学	環境モニタリングおよび放射性廃棄物処理に関する施設見学
オンライン実習	福島県土壌粒子についての粉末 X 線回折法および走査型電子顕微鏡による解析	浪江町での採取土壌中の放射性セシウム動態の解析（鉱物粒子と放射性核種の関係について）
オンライン講義	地下施設“仮想”見学を通して学ぶ地層処分技術に関する研究開発の概要（75 分×3）	（講義担当） 宮川和也 日本原子力研究開発機構 幌延深地層研究センター



写真 飯館村長泥地区環境再生事業の見学



写真 六ヶ所村環境科学技術研究所での実習

⑦ 国内インターンシップ

日本原子力研究開発機構において研究計画を作成し、それに沿った研究を実施した。

【令和2年度】 日本原子力研究開発機構 6名

【令和3年度】 日本原子力研究開発機構 5名

⑧ 海外実習

海外の原子力災害被災地や放射性廃棄物等の関連施設を訪問し、講義やフィールド実習を通じて現状と課題について学習することを予定していたが、COVID-19の影響で令和2年度は国内でのオンライン実習と東海大学と国際原子力機関（IAEA）が連携して開催された「IAEA 国際安全基準研修コース」を受講することとし、令和3年度は国際交流協定を締結した海外協力機関であるコロラド州立大学の Thomas E. Johnson 氏の協力のもとオンライン実習を実施した。

【令和2年度】※いずれもオンライン開催

	実習先	内容および講師
2/15	日本原子力研究開発機構 幌延深地層研究センター	放射性廃棄物の地層処分に関わる研究開発の最前線 岩月輝希（日本原子力研究開発機構）（75 分×2）

3/5	環境科学技術研究所	(1) 環境研およびその他の六ヶ所村原子力関連施設について (2) 再処理施設の操業に伴い排出される放射性物質の環境中での挙動について 柿内秀樹（環境科学技術研究所）（75 分×2）
3/8-11	東海大学 IAEA （IAEA 国際安全基準研修コース）	(1) Safety Standards, Safety Fundamentals (SF-1) (54 min.) Ms. Katherine Asfaw, Mr. Dominique Delattre [IAEA] (2) Leadership and Management for Safety (GSR Part2) (43 min.) Ms. Iva Kubanova [IAEA] (3) Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards (GSR Part3) (75 min.), Ms. Olga German [IAEA] (4) Site Evaluation for Nuclear Installations (SSR-1) (51 min.) Mr. Ayhan Altinyollar [IAEA] (5) Safety of Nuclear Power Plants: Design (66 min.), Mr. Javier Yllera [IAEA] (6) Safety of Nuclear Power Plants: Commissioning and Operation (35 min.), Mr. Fuming Jiang [IAEA] (7) Accident Management Programmes for Nuclear Power Plants (SSG-54) (29 min.), Mr. Javier Yllera [IAEA] (8) Safety Assessment for Facilities and Activities (GSR Part4(Rev.1)) & Deterministic Safety Analysis for Nuclear Power Plant (53 min.) Mr. Javier Yllera [IAEA] (9) Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency (37 min) Mr. Ramon De la Vega [IAEA] (10) NSS-OUI (33 min.), Ms. Tatiana Karseka [IAEA] (11) Overview of Inspection System Reform (60 min.), Mr. Yusuke Kasagawa [Nuclear Regulation Authority] (12) New Concept of Operations for Nuclear Emergency Preparedness and Response Guide in Japan (60 min.) Mr. Minoru Saito [Nuclear Regulation Authority] (13) Nuclear International Framework (60 min.) Mr. Kenkichi Hirose [Tokai University]

【令和3年度】※オンライン開催（コロラド州立大学）

日時	内容
1/24	1. Introduction and Natural Sources of Radioactivity (120 分)
1/31	2. Anthropogenic Sources of Radiation Part 1 (120 分)
2/7	3. Environmental Transport Processes for Radionuclides: Concepts in Ecology (120 分)
2/14	4. Factors affecting radionuclide transport and accumulation (120 分)
2/21	5. Radionuclide behavior: Classic observations in various ecosystems (120 分) Tom Johnson（コロラド州立大学）

⑨ 海外インターンシップ

海外連携機関において研究計画を作成し、それに沿った研究を実施した。令和元年度の海外インターンシップはあと2名の実施を予定していたが、コロナウィルスの影響により、渡航直前に日本からの渡航者に対して28日間の自宅待機措置をとること（インド ケララ州）および大学の休校（オーストリア ウィーン大学）が決まったため、渡航を取りやめた。また、イギリスに渡航した2名についてもコロナウィルスの状況悪化のため、予定よりも2日早く帰国した。

令和2年度の海外インターンシップは、COVID-19の影響により海外協力機関であるUK Centre for Ecology & Hydrologyにおいて「Radiological Environmental Protection」をテーマにオンライン研修を実施した。令和3年度は、コロラド州立大学 Thomas E. Johnson 氏の協力のもと海外実習と合わせて実施し、「Laboratory Instrumentation used for radioecology」をテーマにオンライン研修を行った。

【令和元年度】

日時	受け入れ先	主な実習内容	人数
2/15-3/1	ウクライナエコセンター ウクライナ農業放射能研究所 ウクライナ水文気象研究所	Prof. Kashparov 氏、Prof. Gennady 氏らの指導のもと、チェルノブイリ Sakhan 流域の土壤中の放射性核種分析および GIS を用いた土地利用と放射性核種の流出に関する解析等を行った。	1
3/11-3/19	ダラム大学 シェフィールド大学 (イギリス)	Wainwright 教授とシェフィールド大学の Parsons 名誉教授の指導のもと、放射性核種を用いた土壌侵食および福島原発事故後の放射性核種の広域的な侵食および流出に関するモデル化に関する議論英語論文の執筆を行った。	2

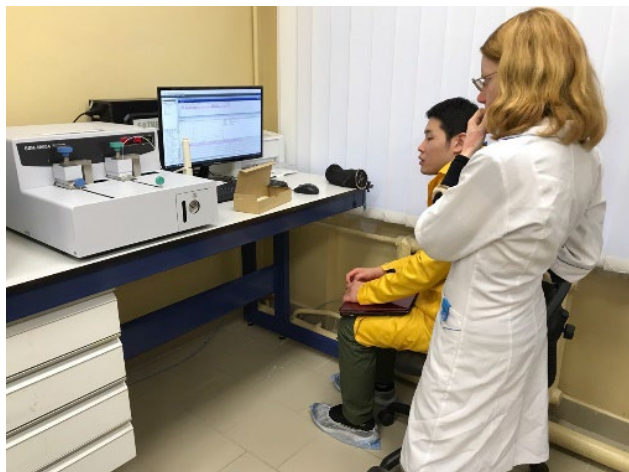


写真 エコセンターでの土壌分析の様子



写真 ダラム大学でのインターンシップ

【令和2年度】

日時	受け入れ先	主な実習内容	人数
11/6-11/17	UK Centre for Ecology & Hydrology	同研究所で開発された環境放射能の影響評価ツール ERICA を用いて、放射性核種の環境移行量および動植物への放射線被ばく量の評価に関する技能を習得する。	2

【令和3年度】

日時	受け入れ先	主な実習内容	人数
1/24-2/21	コロラド州立大学	環境放射能測定のための各種装置（NaI シンチレーション、ゲルマニウム半導体検出器など）などの測定原理から使用方法、キャリブレーション方法等を本学の機器で確認しながら習得する。	2

(3) キックオフシンポジウムの開催（令和元年度）

プログラムの開始に先立ち、本プログラムの意義を広く発信すべく、国内外から5名の演者を招へいし、下記の通りキックオフシンポジウムを実施した。COVID-19の影響を考慮し、一部の演者と関係者のみが会場に集まり、Web会議システム（Webex）によるライブ配信での開催とした。海外からの招へい者3名はCOVID-19の影響により来日できなかったものの、webexによりリアルタイムで参加し、講演およびパネルディスカッションを行った。参加者は31名であり、webexによる配信も大きな問題は生じなかった。なお、これらの講演の動画・資料についてもオンライン教材としてプログラムHP上で公開した。Web開催となったため、当初予定していた他大学の学生への交通費の支給は行わなかったが、6名の学外者の参加があった。

【日時】3月9日（月）10-14時

Webexによるライブ配信（会場：筑波大学総合研究棟 A110）

【スケジュール】

- 10:00-10:05 開会挨拶 角替敏昭（筑波大学 地球進化科学専攻 専攻長）
- 10:05-10:15 プログラム概要説明 高橋純子（筑波大学アイソトープ環境動態研究センター助教）
- 10:15-10:45 地層処分事業の概要と技術開発 山田基幸氏（NUMO）
- 10:45-11:15 JAEAにおける地層処分技術に関する研究開発 濱 克宏氏（JAEA）
- 11:15-11:45 Ongoing challenges: Emergency Management and Management of Radioactive Waste
Gerhard Proehl 氏（元 IAEA/筑波大学客員教授）
- 11:45-12:30 昼食
- 12:30-13:00 Environmental Impact of Nuclear Waste: Insights from US Nuclear Weapon sites
村上治子氏（ローレンス・バークレー国立研究所）
- 13:00-13:30 Dose assessment during radiation emergencies and waste disposals
Thomas E. Johnson 氏（コロラド州立大学）
- 13:30-14:00 パネルディスカッション（司会：廣瀬勝己 本プログラム研究員）

(4) オンラインコンテンツの作成

本事業の申請当初は予定になかったものの、元 IAEA Waste and Environmental Safety Section ユニット長である Gerhard Proehl 博士を本プログラム専任の客員教授として招へいすることができ、以下の12個の講義動画と講義資料をオンラインで公開した

(<https://www.youtube.com/playlist?list=PLYkdIa-Qi1AeSpNbHzcDL9CKV3gPhD1fI>)。その他の講義についても未発表の研究成果を含むものや、所属機関の許諾を得られなかったものを除き、合計で44の動画をオンラインで公開した。

【Gerhard Proehl 博士 オンライン動画】

- 1) Radioactivity and radiation exposure from natural sources
- 2) The International system of Radiation Protection
- 3) Methodology for the assessment of exposures to people following nuclear accidents
- 4) Long-term trends of radionuclides in foodstuffs
- 5) The nuclear accidents in the Chernobyl NPP and the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station
- 6) A comparison of remediation after the Chernobyl and Fukushima Daiichi Accidents
- 7) IAEA Safety Standards for the management of Radioactive Waste
- 8) Overview of options for disposal of radioactive waste
- 9) Assessing potential exposures to people in the post-closure period of a waste disposal facility I. General aspects
- 10) Assessing potential exposures to people in the post-closure period of a waste disposal facility II. From present to future conditions
- 11) Assessing potential exposures to people in the post-closure period of a waste disposal facility III. Option A: Elaborating an envelope for future conditions -The analogue approach
- 12) Assessing potential exposures to people in the post-closure period of a waste disposal facility IV. Option B: Modelling future climates and landscapes

表 1. 各コースの修了生人数（結果）

コース名	育成対象者	R 1 年度	R 2 年度	R 3 年度
基礎コース（5 科目）	大学院生	7 名	4 名	1 名
エキスパートコース（7 科目）	大学院生		1 名	3 名
グローバルエキスパートコース（9 科目）	大学院生		4 名	2 名
	小計	7 名	9 名	6 名
	合計	22 名		

※令和元年度は新プログラムの準備期間であり、前プログラム（1 コースのみ）を実施。

表 2. 各科目・シンポジウムの育成対象及び人数（結果）

実施項目	科目名	育成対象者	育成人数		
			R 1 年度	R 2 年度	R 3 年度
1) 特別プログラム	① 環境放射能動態解析論	大学院生	17 名	28 名	27 名
	② 原子力環境影響評価論Ⅰ	大学院生	41 名	20 名	15 名
	③ 原子力環境影響評価論Ⅱ	大学院生	21 名	21 名	15 名
	④ 地質災害・地層環境評価論（新設）	大学院生	-	19 名	12 名
	⑤ 原子力災害特別セミナー	大学院生	8 名	15 名	6 名
	⑥ 国内実習（新設）	大学院生	-	9 名	4 名
	⑦ 国内インターンシップ	大学院生	11 名	6 名	5 名
	⑧ 海外実習	大学院生	7 名	5 名	2 名
	⑨ 海外インターンシップ	大学院生	3 名	3 名	2 名
2) キックオフシンポジウム		学部生、大学院生、一般	31 名	-	2 名
3) オンライン動画（44 動画）		一般	（参考：総視聴回 853 回 /令和 4 年 5 月末時点）		
		参加人数（実績）	139 名	126 名	90 名
		（参考指標） 交付額/参加人数	75 千円/人	76 千円/人	79 千円/人

※令和元年度は前プログラムの育成人数を含む。

※各科目は重複して履修している学生がいるため、「参加人数」は延べ人数を示す。

＜成果と評価＞

令和元年度末からの COVID-19 の影響により、本プログラムの目玉である海外実習や海外インターン

シップを実際に現地で実施することができなかったものの、多数の連携機関の協力によりオンライン開催とすることでプログラムを全て遂行することができた。講義も原則オンライン開催となったが、チャットを通じた質疑などオンラインならではのメリットもあり、学生の活発性は対面と同等かそれ以上であったと評価できる。

令和2年度および令和3年度のプログラム修了生は、基礎コースがそれぞれ4名と1名、エキスパートコースがそれぞれ1名と3名、グローバルエキスパートコースがそれぞれ4名と2名であり、申請時の基礎コース各年度10名、エキスパートコース各年度5名、グローバルエキスパートコース各年度2名という目標には届かなかったものの、グローバルエキスパートコースの修了生は当初の目標より多く輩出することができた。特に、エキスパートコース以上の修了生の大半は、日本原子力研究開発機構、新エネルギー・産業技術総合開発機構、日本分析センター、東京電力、関西電力、環境省、特許庁などの関連研究所や企業、行政に就職しており、環境科学・地球科学分野からの原子力人材育成という成果を着実にあげている。一方で、基礎コースの修了生は目標より大幅に少なく、環境放射能や放射性廃棄物の処理・処分を研究テーマとしない学生まで広く本プログラムを届けることは未だ不十分であり、今後の課題である。ただし、これは、海外講師による原子力災害特別セミナーがCOVID-19の影響で渡航が制限される中でなかなか日程が決められず、年度終わり頃の不定期開催となってしまったことも一因であると考えられる。実際に、原子力災害特別セミナー以外の基礎コースの講義(①～④)を全て履修した学生は両年度ともに10名を上回っている。

各実施項目に対する具体的な成果と反省点は以下の通りである。

(1) プログラム事務局の設置・運営

本プログラムの課題である環境中の放射性核種動態を専門とする若手研究者を本プログラム専任の助教として雇用することができ、平成27年に原子力人材育成ネットワークにより策定された「原子力人材育成の課題と今後の対応ー原子力人材育成ロードマップの提案ー」でも掲げられている『大学における教員の確保の重要性』に貢献できたものと評価できる。

さらに、COVID-19の影響により2020年2月から約1ヶ月間という短い来日ではあったものの、元IAEA Waste and Environmental Safety Sectionユニット長であるGerhard Proehl博士を本プログラム専任の客員教授として招へいすることができ、オンライン教材の作成のみならず、本学の教員や博士課程の学生とのディスカッションを通じて、教員自身や若手研究者のレベルアップにも繋がった。また、プログラムを修了した卒業生が本プログラム学生に対して就職説明会に来てくれるなど、プログラムの輪も広がっている。

その他、特筆すべきプログラム事務局の成果として、国際交流協定の締結が挙げられる。前プログラムの修了生が博士の学位取得後に日本学術振興会の海外特別研究員としてウィーン大学の加速器センターで従事したことをきっかけに、令和2年度にウィーン大学との間に国際交流協定を締結した(添付資料1)。予定していたウィーン大学での海外インターンシップはCOVID-19の影響により実現できなかったものの、メールやオンライン会議をベースとした交流を行っている。また、本プログラムのキックオフシンポジウムでThomas E. Johnson氏に招待講演を依頼したことをきっかけに、令和3年度にはコロラド州立大学とも国際交流協定を締結した(添付資料2)。Thomas氏にはオンライン講義のほか、オンラインの実習やインターンシップ受け入れを担当して頂いた。前プログラムで締結したウクライナ国立生命環境大学との国際交流協定は令和4年度で終了するが、継続して協定を結ぶ予定である。さらに、直接訪問することはできなかったものの、アメリカの核廃棄物隔離試験施設(WIPP)やロスアラモス国立研究所など、本プログラムから展開した放射性廃棄物の処理・処分に関する研究所とも国際的な協力体制が構築でき、プログラム事務局として大きく前進していると評価できる。

(2) プログラムの精査・実施

本プログラムでは、地層処分の安全評価に関わる地球科学の講義(④地質災害・地層環境評価論)および⑥国内実習を新たに開設し、国内外18機関33名の連携協力者(添付資料3)の力添えのもと、全9科目のプログラムを遂行することができた。

エキスパートコースやグローバルエキスパートコースの学生の多くは環境中の放射性核種の動態に関する修士研究に取り組んでおり、プログラムで学んだ知識や習得した技術を活かして行われた研究成果はIAEAのModelling and Data for Radiological Impact Assessments II (MODARIA II、<https://www-ns.iaea.org/projects/modaria/modaria2.asp>)などでも取り上げられている。また、福島実習で採取した土壌は現在IAEAのProficiency Test用の試料にするための承認プロ

セス中であり、来年度には採用される見込みである。このように、国際的な原子力分野の発展に貢献し得る高い専門性を有した教育プログラムの構築と人材育成ができたものと評価できる。

一方、前述の通り基礎コースの修了生人数は伸び悩み、分野外の学生への原子力分野への関心の向上や、あるいは地球科学・環境科学の中でも一見専門外に思える自分の分野と原子力分野の関連性への気付きなどを得るためにはもう一段の工夫が必要であった。前プログラムからの継続科目についても、履修生人数を大きく増やすことはできず、より一層プログラムを周知していくことが必要である。しかしながら、分野外の大学院生にとっては自分の研究分野の科目履修と修士研究に加えて本プログラムに取り組むことは容易なことではなく、育成人数増加のためにはより積極的に他大学の関連分野の学生を取り込むことも重要である。

(3) キックオフシンポジウムの開催（令和元年度）

キックオフシンポジウムも COVID-19 の影響で一部の演者と関係者のみが会場に集まる形式でのオンライン開催となった。キックオフシンポジウムの案内をポスターの郵送や HP 上で行ったところ、他大学から 6 名の参加者があり、その多くの学生は翌年のプログラムの一部の講義に参加している。プログラムを周知するという目的はある程度果たされたと考えられる。

また、前述の通りキックオフシンポジウムで Thomas E. Johnson 氏に招待講演を依頼したことをきっかけに、令和 3 年度にはコロラド州立大学と国際交流協定を締結するに至った。同じく招待講演を依頼した村上治子氏（ローレンス・バークレー国立研究所・現マサチューセッツ工科大学助教）とも本プログラムを通じた交流を続けており、令和 4 年 7 月にはマサチューセッツ工科大学で開催された Nuclear Waste Educators' Workshop で本プログラムの紹介を行った（添付資料 4）ほか、令和 4 年度事業では、村上氏の紹介のもとアメリカのサバンナ・リバー・核施設やマサチューセッツ工科大学の原子炉などを海外実習で訪問する予定である。

(4) オンラインコンテンツの作成

申請当初予定になかった Gerhard Proehl 博士の招へいにより、自然界の放射線被ばくや放射線防護の国際システム、放射性廃棄物の管理に対する IAEA の安全基準といった基礎から、廃棄物処分場の閉鎖後における人体への潜在的な被ばくの評価といった応用的な課題までの広範な 12 のオンライン教材を作成することができた。これは、本プログラムの YouTube チャンネルで公開しており、誰でも利用可能である。

その他、本プログラムで実施した講義科目を中心に新たに 32 の動画を公開しており、前プログラムで公開した 66 の動画と合わせて 110 の動画を作成できた。しかし、その視聴回数は令和 4 年度 5 月末現在で、現プログラムのものは 853 回/44 動画（19 回/1 動画）、前プログラムのものは 5815 回/66 動画（88 回/1 動画）となっており、おおよそ各動画あたり 1 年間で 10-20 回程度視聴されている。これは決して多いとは言えず、また、一方通行の教材となってしまうため、どのような方が視聴しているのか、どの程度理解しているのかなどが把握できていない。COVID-19 の影響でオンラインでの単位履修が浸透してきたことを活かし、課題の提出や質問を受け付けるなど双方向のオンライン教材となるシステムの整備が必要である。

<今後の事業計画・展開>

令和 4 年度以降もプログラムを縮小することなく継続していく。とくに、本事業では本学の大学院生のみを対象としながら育成人数を増やすことの限界が見えたため、今後は他大学との連携をより強化する。具体的には、東北大学多元物質科学研究所および富山大学地球システム科学科と共同で実施することで、これまでに構築した教育プログラムをさらに他大学の大学院生を対象に展開し、環境科学・地球科学・原子力工学という異分野を融合させることで、さらなる育成人数の拡充を図るとともに、様々な分野の学生に対して原子力分野に関する関心・貢献への動機付けを行うことのできる教育プログラムの構築を目指す。また、令和 2 年度より発足した未来社会に向けた先進的原子力教育コンソーシアム（ANEC）とも密に連携しながら、依然として不足している環境科学・地球科学における原子力教育および人材獲得・育成に力を入れる。同時に、原子力工学に関する教育は本プログラムに欠けている点でもあるため、ANEC との相互履修を進めていく。

<整備した設備・機器>

本事業では以下の機器を整備し、実習科目で活用した。

財産の名称	仕様	数量	取得等年月日	取得等価格	設置場所（住所）
γ線用シンチレーションサーベイメータ	日立製作所製 TCS-1172	1 式	R2. 2. 26	572, 000	茨城県つくば市天王台 1-1-1
小型精密切断機	ビューラー製 アイソメットLS	1 式	R2. 2. 18	1, 144, 000	〃
試料研磨機	アイエムティー(株)製 IM-P2, 研磨円板, マグネティックサーフェス円板 付	1 式	R2. 3. 2	568, 402	〃
カーボンコータ	メイワフォーシス製 CADE	1	R2. 11. 18	1, 591, 150	〃

＜その他特記すべき事項＞

本学アイソトープ環境動態研究センターは、平成 30 年 6 月より文部科学省の共同利用共同研究拠点（連携ネットワーク型拠点）の放射能環境動態・影響評価ネットワーク共同研究拠点（ERAN）中核機関として認定されている。これは、本学と福島大学環境放射能研究所（IER）・弘前大学被ばく医療総合研究所（IREM）をネットワーク拠点とし、本事業の連携機関でもある日本原子力研究機構（JAEA）廃炉環境国際共同研究センター・国立環境研究所（NIES）福島地域協働研究拠点・環境科学技術研究所（IES）を連携ネットワーク型拠点とした 6 機関の共同研究拠点であり、本プログラム採択期間中に令和 10 年度までの更新が決定した。これには、本プログラムの取り込みも大いに評価されたためと考えられる。

＜参考資料＞

（１）添付資料

- 1) ウィーン大学との国際交流協定書
- 2) コロラド州立大学との国際交流協定書
- 3) 連携協力者一覧
- 4) Nuclear Waste Educators' Workshop Sponsored by Massachusetts Institute of Technology Clemson University (<https://sites.google.com/mit.edu/nw-workshop>) のスケジュールと発表資料

（２）事業成果の公開事例、関連する文献

- 1) プログラム HP (<https://enep.ied.tsukuba.ac.jp/>)
- 2) プログラム Facebook (<https://www.facebook.com/enep.tsukuba/>)
- 3) プログラム YouTube (<https://www.youtube.com/channel/UC-yKGOMwIskp0koVTikjltA/videos>)

評価項目に係る事項について

①課題の達成度（採択時の審査評価委員会所見への対応を含む。）	■課題の達成度 従来の原子力人材育成で不足していた原子力緊急時の環境影響評価に加えて、今後の原子力分野の最重要課題の1つである放射性廃棄物の処理・処分に係る人材育成に発展させ、新たに講義科目と実習科目を1単位ずつ増やすことで、体系的なプログラムを構築した。COVID-19の影響により、一部の実習を除いてオンラインでの実施となったものの、予定していた全ての科目を実施でき、オンラインのメリットを最大限に活かした効果的なプログラムとなった。7科目以上を履修したエキスパートコースおよび全9科目を履修したグローバルエキスパートコースの修了生（2年間で10名/各年5名）の多くは日本原子力研究開発機構や電力会社をはじめとした関連の研究所・企業・省庁に就職しており、環境科学・地球科学分野からの原子力人材育成という課題を十分に達成できたと考えられる。 ■採択時の審査評価委員所見への対応 採択時に指摘を受けていたWEB公開等の一般向けの展開については、Gerhard Proehl 博士の招へいにより採択時に予定のなかった12の講義動画と資料を作成し、期待以上の成果をあげることができた。その他にも32の講義動画を一般公開している。一方で、それらの貴重なオンライン教材をより効果的に活用する方法や、他大学を含めたより広範囲な学生への展開などは今後より検討していく必要がある。
②特記すべき成果	本プログラムをきっかけに、ウィーン大学およびコロラド州立大学との国際交流協定を締結した。 また、本プログラムのキックオフシンポジウムの演者である村上氏の紹介により、令和4年にマサチューセッツ工科大学で開催された Nuclear Waste Educators' Workshop において、本プログラムの取り組みを発表した。
③事業の継続状況・定着状況	事業終了後の令和4年度も縮小はせずにプログラムを継続しており、他大学の学生3名を含む13名のプログラム履修生を受け入れ、円滑に事業を進めている。もともとは学内予算を活用しながら学生への渡航旅費を含む支援を行う予定であったが、令和4年8月に新事業の採択が決定したため、全面的な支援のもとプログラムを継続する。令和4年度は、9月にアメリカ（サバンナ・リバー核施設、マサチューセッツ工科大学原子炉、核廃棄物隔離試験施設（WIPP）、ロスアラモス国立研究所）での実習を予定している。
④成果の公開・共有の状況	本事業で実施した講義・シンポジウムについては、全て動画の撮影を行い、未発表のデータなどを含む一部を除いた44の動画をオンラインで公開することができた。その内容は非常に充実しているが、再生回数は平均19回に留まっており、オンラインコンテンツの周知と活用が今後の課題である。また、今後の ANEC をはじめ他大学と連携していく中では、未発表動画についてもメンバー限定での公開を予定している。さらに、未発表データや著作権関連の問題を整備することで、残りの動画についても順次公開することを検討している。

⑤参加した学生数、原子力関係機関への就職状況、公的資格取得者数

プログラム修了生（5科目以上を履修した学生）の数は2年間で15名であったが、4科目以上を履修した学生は2年間で30名であり、各科目履修の述べ人数は355人であった。

令和2-3年度の2年間のプログラム修了生の原子力関係機関への就職先としては、日本原子力研究開発機構が2名、東京電力が2名のほか、環境省、特許庁、新エネルギー・産業技術総合開発機構、日本分析センター、関西電力、福島県内環境コンサルタントなどが挙げられる。その内の一人からは、卒業後に第1種放射線取扱主任者に資格を取得したと報告があった。このように、本プログラムは環境科学・地球科学分野からの原子力人材育成に対して着実に成果をあげていると評価できる。