

文部科学省国際原子力人材育成イニシアティブ事業(原子力人材育成等推進事業費補助金)
令和6年度終了課題



筑波大学 大学院特別 プログラム

ENEP Expert Program for
Environmental Management of
Nuclear Emergency and
Disposal Radioactive Waste

原子力緊急時の環境影響評価と廃棄物処理・処分を支える人材育成

筑波大学 放射線・アイソトープ地球システム研究センター
センター長 恩田 裕一

参画機関:東北大学(桐島 陽)



プログラムの背景と目的

第一期
(2015-2017年度)

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

福島第一原子力発電所事故後、原子力災害による環境・生態系への影響評価や測定・モデリング技術を有した人材の不足が露呈。

➡ **環境科学分野の大学院生**を主な対象とし、**環境中の放射性核種動態**を体系的に学ぶことのできる原子力人材育成を開始。



課題

- ✓ 本学では初めて環境科学専攻から日本原子力研究開発機構に人材を輩出するなどの成果をあげることができたが、地層処分に深く関係する本学の地球科学分野では原子力分野への人材輩出がほとんどできていない。
- ✓ 福島事故関連の研究が縮小されていく中で、若い世代に福島の実状と課題を伝える場、あるいは若い研究者を次の講師として育成する場として、プログラムの維持・拡大が重要。



プログラムの背景と目的

第二期
(2019-2021年度)

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

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」「海外インターンシップ」を新設。

➡ **地球科学分野の大学院生を対象**
にプログラムを拡大。



課題

- ✓ 電力関係の企業・研究所にも人材を輩出できたが、3年間のプログラム修了生(5科目以上を履修した学生)の数が22名(各科目履修の述べ人数は355名)であり、さらなる履修生増加のためには他大学の学生を対象にする必要がある。
- ✓ コロナ禍のため、予定していた海外実習に行くことができず、とくに放射性廃棄物の処理・処分にかかわる実地実習がほとんどできなかった。



プログラムの背景と目的

第三期
(2022-2024年度)

原子力緊急時の環境影響評価と廃棄物処理・処分を支える人材育成

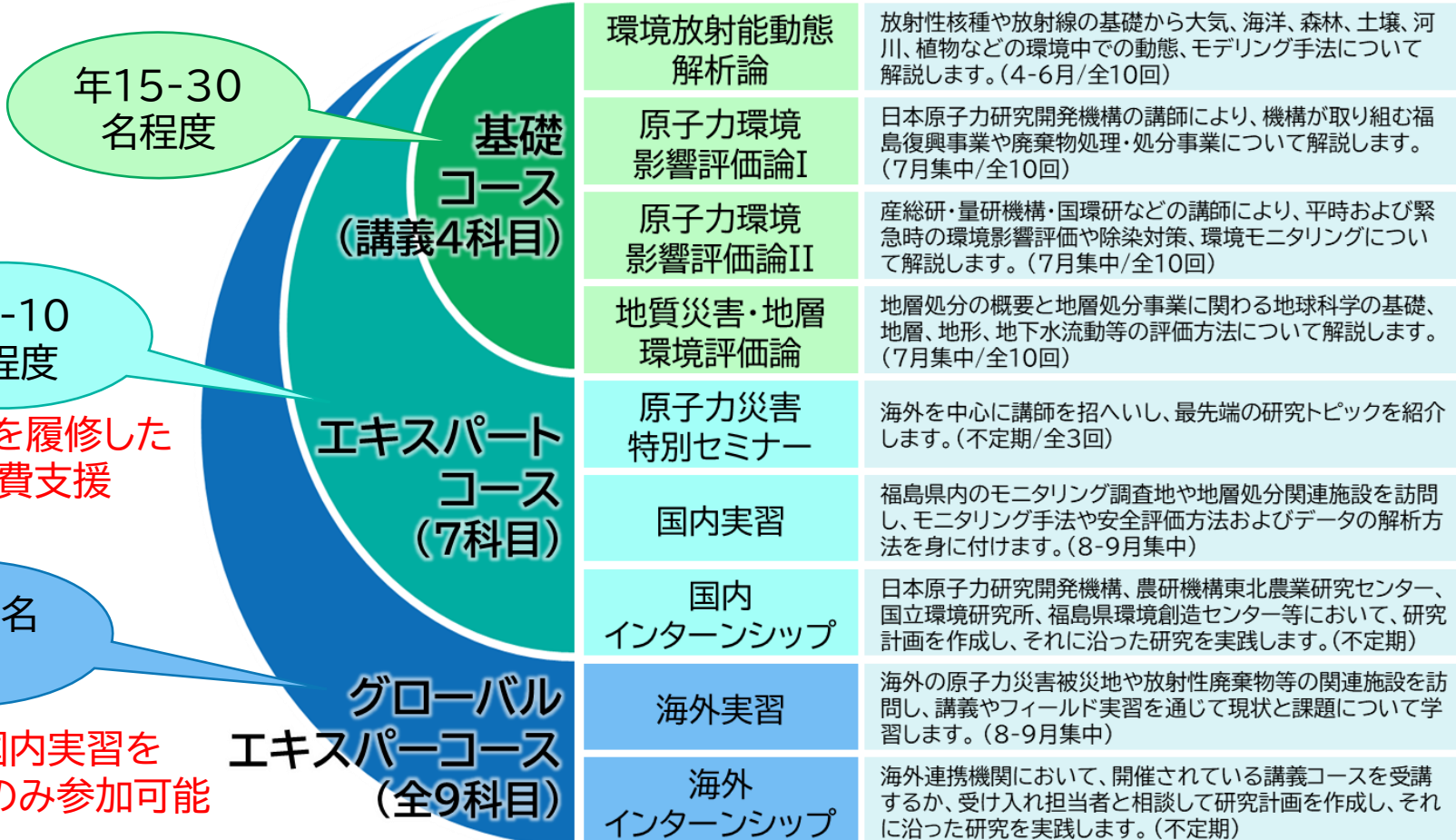
- ◆ 原子力工学(東北大学 桐島陽教授)と新たに連携し、地層処分教育を強化。アメリカ(WIPP)やスイス(モンテリ地下研究所) など海外の地層処分施設での実習を計画。
- ◆ 専門性に応じた3段階のコースを用意し、関連分野外の学生の学生を呼び込むとともに、ANECと連携しながら他大学への周知を行い、**育成人数を増やす**。
- ◆ 外部の履修生への対応として、オンライン動画でも常時双方向型授業やフィードバックがスムーズにできるよう**MS Teamsを活用したオンライン講義窓口**を設置。

主に大学院生を対象として、原子力分野の重要課題である緊急時対応・原子力防災・原子力災害後の環境影響評価および放射性廃棄物の処理・処分の推進に貢献することのできる人材を育成する。



教育プログラムの概要

国内外の連携機関の協力のもと、**機関横断的な教育プログラム**を実施。
専門性に応じた3段階のコースを設定し、専門外の学生に対する原子力分野への関心や貢献への動機付けから、今後の原子力課題を担う専門家まで、幅広いレベルの人材育成を目指す。





年間スケジュール

1年を通じて基礎的な講義から外部講師による応用的な講義を経て、国内外の実習・インターンシップに臨む体系的なプログラムになっている。

各講義科目は
75分×10回

※ 海外実習・海外インターンシップは翌年になるなど、2年間に跨る場合もある。

	月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
①	環境放射能動態解析論	←→											
②	原子力環境影響評価論I				■								
③	原子力環境影響評価論II				■								
④	地質災害・地層環境評価論				■								
⑤	原子力災害特別セミナー						■						
⑥	国内実習（福島）				■								
⑦	国内インターンシップ					←→							
⑧	海外実習（アメリカ）						■						
⑨	海外インターンシップ											←→	←→
	HP更新、講義動画の追加・管理	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→
	オンライン窓口対応	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→	←→

春
基礎知識
の習得

夏
応用的な講義
(外部講師)

講義で学んだ
調査・研究事例を
見学・実習

海外機関で自身の
修士研究を深める
or
国際学会での発表

3年間、全ての科目を予定通り実施。



履修生人数の推移

	R4	R5	R6	合計
グローバルエキスパートコース	1	5	3	9
エキスパートコース	2	6	7	15
基礎コース	7	8	13	28
1科目以上参加実人数	40	62	54	156
1科目以上参加延べ人数	137	167	170	474
学外者数	3	5	13	21
学外者所属	東北大学 京都大学	東北大学 京都大学 近畿大学 福井大学	東北大学 京都大学 埼玉大学 信州大学 東京工業大学 北海道大学 関西電力 東京電力	

ANECのメーリングリストや学会・研究会での周知により、**年々他大学や一般の方からの参加が増加。**



履修生の主専攻

グローバルエキスパートコース	地球科学、環境科学
エキスパートコース	地球科学、環境科学、山岳科学、 原子核工学、量子エネルギー工学、 化学、総合理工学
基礎コース	地球科学、環境科学、化学、 経済経営学
1科目以上参加実人数	地球科学、環境科学、山岳科学、 化学、応用理工、物理学、数学、 リスク・レジリエンス工学、機械知能工学、 機械システム工学、構造エネルギー工学、 社会工学、 生物資源科学

地球科学・環境科学・原子力工学を中心に、化学・物理学・山岳科学・生物資源科学・経済経営学など幅広い分野からの履修があった。



履修生の就職先

これまで(R4-R6)の原子力・エネルギー関係の就職先

- 博士課程進学
- 日本原子力研究開発機構
- 東京電力
- 清水建設(除染関係環境コンサルタント)
- 日立製作所(原子力部門)
- 東陽テクニカ(エネルギー関係)
- 日本エヌ・ユー・エス株式会社(原子力関係コンサルタント)



特筆すべき成果

- 学外の履修生の大幅な増加を達成
- 海外実習として、3年間で22機関の訪問ができ、当初の予定を上回る充実した実習となった
- 海外インターンシップで研究を進めた履修生(修士)が筆頭著者となる論文が国際誌に3報出版された



Environmental Pollution 334 (2023) 1221-47

Contents lists available at ScienceDirect

Environmental Pollution

journal homepage: www.elsevier.com/locate/envpol



Science of the Total Environment 907 (2024) 167837

Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv



ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 206 (2023) 258-272

Contents lists available at ScienceDirect

ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing

journal homepage: www.elsevier.com/locate/isprsjrs



Changes in air dose rates due to soil moisture content in the Fukushima prefecture forests^a

Miyu Nakanishi^a, Yuichi Onda^{b,c}, Junko Takahashi^b, Hiroaki Kato^b, Hikaru Iida^a, Momo Takada^c

^a University of Tsukuba, Tsukuba, Baraki, 305-8572, Japan

^b Center for Research in Isotopes and Environmental Dynamics, University of Tsukuba, Tsukuba, Baraki, 305-8572, Japan

^c National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Tsukuba, Baraki, 305-8567, Japan

ARTICLE INFO

Keywords:
Air dose rate
Soil moisture content
Effective rainfall
Shielding effect
Hysteresis

ABSTRACT

Radionuclides released and deposited because of the 2011 Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident caused an increase in air dose rates in Fukushima Prefecture forests. Although an increase in air dose rates during rainfall was previously reported, the air dose rates in the Fukushima forests decreased during rainfall. This study aimed to develop a method to estimate rainfall-related changes in air dose rates, even in the absence of soil moisture data, in Ban'ei-Town and Kawachi-Village, Futaba-gun, Fukushima Prefecture. Moreover, we examined the relationship between preceding rainfall (Rw) and soil moisture content. The air dose rate was estimated by calculating the Rw in Namie-Town from May to July 2020. We found that the air dose rates decreased with increasing soil moisture content. The soil moisture content was estimated from Rw by combining short-term and long-term effective rainfall using half-life values of 2 h and 7 d and considering the hysteresis of water absorption and drainage processes. Furthermore, the soil moisture content and air dose rate estimations showed a good agreement with coefficient of determination (R²) scores >0.70 and >0.65, respectively. The same method was used to estimate the air dose rates in Kawachi-Village from May to July 2019. At the Kawachi site, variation in estimated value is relatively large due to the presence of water repellency in dry conditions, and the amount of ¹³⁷Cs inventory was low, so estimating air dose from rainfall remained a challenge. In conclusion, rainfall data were successfully used to estimate soil moisture and air dose rates in areas with high ¹³⁷Cs inventories. This leads to the possibility of removing the influence of rainfall on measured air dose rate data and could contribute to the improvement of methods currently used to estimate the external air dose rates for humans, animals, and terrestrial forest plants.

Mechanisms of ¹³⁷Cs leaching based on long-term observations in forested headwater catchments in Yamakiya, Fukushima Prefecture, Japan

Taichi Kawano^a, Yuichi Onda^{b,c}, Hiroaki Kato^b, Junko Takahashi^b

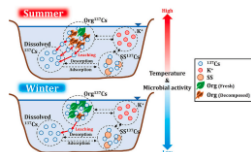
^a Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Japan

^b Center for Research in Radiation, Isotopes and Earth System Sciences, University of Tsukuba, Japan

HIGHLIGHTS

- We explored water chemistry and seasonal ¹³⁷Cs changes in headwater catchments.
- In headwater stream, ¹³⁷Cs, DOC, and K⁺ correlate positively, with no NH₄⁺ detected.
- Summer boosts dissolved ¹³⁷Cs concentration in headwater streams 1.5–2.0x.
- The closer to the spring, the lower K⁺ conc. and temperature dependence of ¹³⁷Cs.
- In headwater streams, dissolved ¹³⁷Cs vary seasonally from litter leaching ¹³⁷Cs.

GRAPHICAL ABSTRACT



Satellite remote sensing model for estimating canopy transpiration in cypress plantation using in situ sap flow observations and forest inventory

Asahi Hashimoto^a, Chen-Wei Chiu^a, Yuichi Onda^{b,c}, Makiko Tateishi^b, Kenji Tsuruta^a, Takashi Gomi^d

^a Center for Research in Isotopes and Environmental Dynamics, University of Tsukuba, 1-1-1, Tennodai, Tsukuba, Baraki, 305-8572, Japan

^b Research Administration Center, Kyushu University, Fukuoka, Higashi-ku, Japan

^c System Analysis Division, Labor Force Environmental Research Institute, 5-34, Yonagasaki, Oita, Shiga 320-0822, Japan

^d Graduate School of Biographical Sciences, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi 464-8601, Japan

ARTICLE INFO

Keywords:
Transpiration
Forest inventory
Remote sensing
Sap flow
Decoupling index

ABSTRACT

Transpiration (E_t) in forests accounts for a significant fraction of evapotranspiration. However, because E_t is influenced by meteorological factors and the physiological response of vegetation, developing an accurate model for predicting E_t presents a challenge. In this study, we developed a model to estimate E_t specific to cypress plantation forests using satellite remote sensing and sap flow data in Japanese cypress plantations composed of a single forest species. The contribution of E_t to evapotranspiration (E_{tot}) and plant physiology (E_{pot}) was determined using the decoupling index along with the surface temperature. Using the Forest Inventory (FI), in which the extent of growth of each species, including cypress, was surveyed and Land Remote Sensing Satellite imagery of the FI range was obtained, an index of activity estimation for cypress trees was developed. The surveyed area, which significantly influences E_t, was calculated from the tree age obtained from FI or diameter at breast height and incorporated into the model. The developed model exhibited a high correlation of r = 0.74–0.88 with the measured E_t. The antecedent precipitation index (API), which represents the wetness of the land surface, can be used to evaluate the confidence level and correction coefficient (if needed) of model estimates. When corrected by API, E_t could be estimated with even higher accuracy (r = 0.76–0.89). The model developed in this study considers the physiological responses of vegetation and plant species, and the same approach can be used to develop models to estimate E_t for other tree species. Additionally, our model uses reflectance at wavelengths close to visible light and surface temperature and can, therefore, be readily applied to other remote sensing methods, such as unmanned aerial vehicles and airborne methods. The model developed in this study can be used with FI data to estimate E_t by tree species to provide detailed and accurate estimates of E_t.



令和4年度 海外実習

履修生8名
(学外3名)

9/20 Savannah River Site訪問



9/22 Waste Isolation Pilot Plant (WIPP)



9/22 Carlsbad Environmental Monitoring & Research Center



9/23 Jornada生態水文観測フィールド(環境組)



9/23 Los Alamos 国立研究所(廃棄物組)



コロナ禍終盤の時期であり、フライトの欠航・遅延でマサチューセッツ工科大学の原子炉見学キャンセルなど大幅なスケジュール変更を余儀なくされたが、充実した実習となった。



令和5年度 海外実習

履修生13名
(学外3名)

9/18 国際熱核融合実験炉 ITER



9/18 IAEA モナコ環境研究所



※IRSNは撮影禁止(9/18)

IAEA LABORATORIES



9/19 IAEA Seibersdorf研究所

9/19 IAEA Vienna International Centre





9/20 モンテリ地下研究所



9/20 モンテリ地下研究所



9/21 Alptal水文観測サイト



9/22 グリムゼル・テスト・サイト

コロナ禍も落ち着き、最多の参加者であった。この実習を機にウィーンへの留学を決める学生が出るなど、高い教育効果が確認された。



令和6年度 海外実習

履修生10名
(学外7名)

9/19 Rocky Flats



9/20 Boulder creek critical zone site



9/21 コロラド州立大学

9/23 Triangle Lake (環境組)



9/23 オークリッジ国立研究所(原子力組)



9/23 オレゴン州山火事サイト(環境組)



9/24 Reach Museum



9/25 パシフィックノースウェスト国立研究所
(Hanford Siteは撮影禁止)



実習後、訪問したコロラド州立大学の大学院生が来日し、本学でひと月間の研究を行うなど、相互の交流が実践できた。



実習レポートより

- 今学期勉強した講義資料の中の抽象的な内容を**実際的に、具体的に理解できたこと**が大きな収穫だった。
- (モンテリ地下研究所・グリムゼルテストサイトについて)知識として知っていたガラス固化体などにすることなく使用済み核燃料をそのまま処分するスイスの地下処分方法などを**直接見ることができ**、非常に有意義であった。
- (Savannah River Siteについて)廃炉にするのに多額の費用がかかるため、周りをコンクリートで固めてしまおうという考えは、非常にアメリカらしいと感じた。それでも、まさか原子炉自体を固めるとは思わなかった。**同じものを対象にしても、国によってその扱いが大きく変わる**ことが非常に興味深かった。
- コロラド州立大学では、特段セキュリティが厳しそうな様子ではなかった通常の実験室でプルトニウムの実験が可能であり、**文化の違いを大きく感じた**。
- ハンフォード・サイトの見学で最も記憶に残っているのは、遅延解体の選択で石棺にされた原子炉である。遅延解体を選べたというのは**アメリカ(や諸外国)ならではだ**と感じた。
- オークリッジやハンフォード・サイトでは、マンハッタン計画の一端と現在まで続く環境影響・先住民が受けている余波を知ることができた。1F事故による環境汚染と元核施設の環境汚染は、見た目では似たような問題に見えるが、**解決すべき課題の毛色が異なり**、改めて日本に焦点を当てて取り組んでいく必要があると認識できた。



実習レポートより

- (原子力工学専攻の学生より) **本プログラムの一連の活動により汚染地域への対策の在り方について考え方が変わった。** プログラム参加以前は、環境被害が生じた地域については事故が発生する前の状態に復元することが目指すべき目標であると考えていた。発生した汚染土壌を回収しCsの除去処理を行ったのち再び環境に戻すことが必要でそのためには効率的で低コストの処理方法の研究開発が求められていると考えていた。しかしアメリカでは過去の汚染事故に対し何か特別な処理を行っているわけではないことを知った。
- その代わりにモニタリングにより放射性核種が人間社会に影響を及ぼさないことを確認する作業に注力しているようであった。アメリカの考え方に触れ、福島での目標は事故前に復元することではなく現状に適応することであると考えられるようになった。適応するためにはモニタリングを通じて現状の理解、そして未来の予測を行うことが新しい適応方法を考えるうえでの基盤になると考える。**本プログラムを通じ、環境モニタリングの重要性をより深く理解できた。**



- ✓ 講義で学んでから実際に見学・実習することは非常に学習効果が高いこと
 - ✓ 海外で日本とは異なる文化・自然環境・研究規模・対策方法が取られていることを実感し、新たな考え方や視点が生まれていること
 - ✓ 環境科学・地球科学・原子力工学が連携することで、深い相互理解が生まれていること
- などが確認できた。

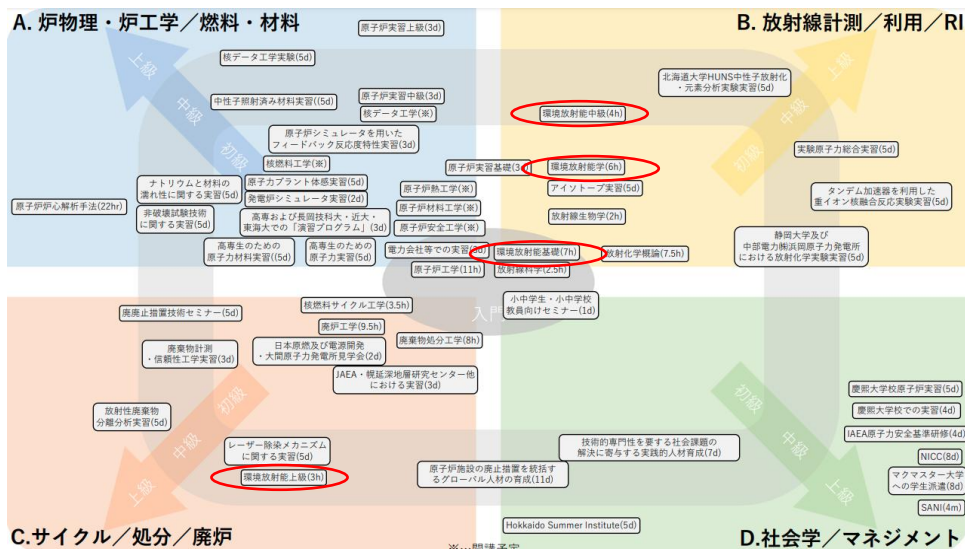


本プログラムの今後の在り方

令和7年度:

国際原子力人材育成イニシアティブ事業の公募があれば、応募を予定。
ただし、講義5科目および国内の実習・インターンシップは補助金の有無によらず継続する。海外の実習・インターンシップは、補助金の有無および採択時期によって実施を決める。

ANECカリキュラム分類



ANECの中でもすでに20時間の環境放射能関係科目がカリキュラムに組み込まれているが、本プログラムが特化している放射性物質の長期環境移行はこれを更に強化できる。

とくに、環境モニタリングは原子力被災地における地元住民との対話の成功と失敗を分ける鍵となり得るため、その重要性を伝えることに尽力したい。

ANECとより連携を強化しながら今後もプログラムを実施し、福島復興・放射性廃棄物の処理処分・原子力発電所の再稼働に貢献できる人材輩出を目指す。



今後の取り組み（ENEPP 筑波大学）

- 内的・外的環境： **原子力施設の再稼働** → **原子力施設での環境モニタリング**， **原子力緊急時対応をより重視**する。廃止措置への対応
- 求められる役割：放射性物質の長期環境動態の理解の上でのモニタリング，廃止措置，廃棄物処分を考えられる人材の輩出
- 運用方法：引き続き外部からの参画を推奨する
- 規模感： 3－5名程度
- 教育対象：大学院生の輩出 → マネージメント層を中心に
- 運用： ANECとの連携強化