

原子力学会 2025 秋の大会企画セッション「放射性廃棄物処分における AI 利用の展望」 参加報告

上野吹佳*1

1. はじめに

本セッションは、放射性廃棄物処分に関する分野において、将来的な活用が期待される AI に関する展望や課題を議論するため、原子力学会 2025 年秋の大会にて 9 月 11 日に開催されたバックエンド部会による企画セッションである。発表者・聴講者を含む参加者は 122 名であり、放射性廃棄物処分に関する分野で AI を活用する専門家から 4 件の講演を行った他、研究機関、規制機関、実施主体の専門家によるパネルディスカッションを実施した。

以下に本セッションの概要について報告する。

2. 講演

2.1 「亀裂ネットワーク内の溶質移行シミュレーションにおける AI 利用」

(東京大学・電力中央研究所 岡本駿一氏)

日本における地層処分の検討において、一部母岩の水理地質環境モデルの構築には、調査や試験等の結果に基づき亀裂を確率論的に生成する確率論的統計亀裂ネットワーク(以下、DFN)が用いられる。DFN は個々の亀裂をモデル化することから亀裂ネットワークの構造的・水理的不均質性を表現できる一方、計算量の増大に加えて、発生させた DFN のサンプリング(リアライゼーション)を実施する必要がある。このため、DFN を用いた溶質移行計算は計算負荷が高く、感度解析などの実施が困難であるという課題がある。

東京大学・電力中央研究所では DFN を用いた溶質移行計算の負荷を低減し、計算を高速化するための手法を開発している。この手法は亀裂ネットワークをグラフ表現することによる簡略化と、AI を使った補正を組み合わせたものである。簡略化により粒子追跡解析を高速化したうえで、その結果と通常の DFN を用いた粒子追跡解析結果との間に発生する差異を AI により補正し、簡略化した計算結果から DFN を用いた計算結果を予測するものである。本セッションにおいては開発している解析手法の予測精度や適用性、現状の課題や今後の改良方針に関する紹介があった。

2.2 「地球物理観測による地下水モニタリングと AI 利用」 (京都大学 澤山和貴氏)

地層処分において、閉鎖後の長期安定性を評価するためには、地下の流体流動挙動評価が必要となるが、その時間変化の推定には数値モデリングを用いている。しかし、実際に瑞浪の地下環境で確認された複雑な亀裂パターンのよ

うな存在を考慮すると、天然環境の実際の透水性を室内試験で得られたデータ、および、統計的に構築した DFN により予測することは困難であるという課題がある。

京都大学ではこの課題の解決のため、弾性波探査などの地球物理学的探査手法を活用した、処分候補地の地下環境の評価を遠隔から行う手法に注目した。これまでに京都大学はデジタル化、および、AI 技術を活用することにより、地球物理学的探査データを基に地下の透水性分布を予測可能とする岩石物理モデルを構築してきた。これにより物理探査データに基づく解釈を行う際に、より定量的な透水性評価が可能となるほか、閉鎖後長期のモニタリング結果から得られる地上の観測物性値に基づき、地下環境の変化を推定することが可能となる。本セッションでは、このモデルに加え、深層学習を用いたスケールアップ手法や新たなインバージョンフレームワークの開発などの最新研究事例、および今後の方策に関する説明があった。

2.3 「核種移行解析における機械学習の利用」

(原子力発電環境整備機構 浜本貴史氏)

原子力発電環境整備機構(以下、NUMO)は、地層処分場の閉鎖後長期の安全評価において、空間・時間スケールを考慮した廃棄体から生活圏までの核種の移行挙動を定量的に評価するため、三次元の地下水流動・粒子追跡解析技術とこれに基づく核種移行解析モデルを整備してきた。しかし、この計算には膨大な時間を要するうえ、特定の処分場候補地における地質環境や設計オプションの比較、各種パラメータの不確実性の評価を行うためには、解析条件を変えさらに膨大な解析ケースに対して計算を実施する必要がある。このため、特定の処分地に対する整備した解析技術の適用、ならびに出力された膨大なデータの処理は現実的ではないという課題がある。

NUMO ではこれらの課題に対処するため、AI を利用し核種移行挙動を予測する予測評価ツール、および、解析の結果である粒子の移行挙動を分類し、人間による分析を可能とするクラスター分析ツールという 2 つの解析補完ツールの開発を行っている。本セッションではこれら解析補完ツールの開発状況と現状の課題、今後の計画について紹介があった。

2.4 「地下施設の可視化技術の構築および AI 利用による未知データの予測」

(日本原子力研究開発機構 北村暁氏)

地層処分においては、処分場の建設・操業・閉鎖後の安全評価において、膨大なデータを用いた種々の解析を実施する必要がある。

日本原子力研究開発機構(以下、JAEA)では、こうした解析の負荷を低減するため、以下のように AI を活用した試

Report on the planning lecture "Prospects for the use of AI in radioactive waste disposal" at the Atomic Energy Society of Japan 2025 Fall Meeting by Fuga UENO (ueno.fuga@numo.or.jp)

*1 原子力発電環境整備機構 技術部

Science and Technology Department, Nuclear Waste Management Organization of Japan (NUMO)

〒108-0014 東京都港区芝 4-1-23 三田 NN ビル 2 階

みを実施している。

(a) 地下施設の 4D 可視化技術および亀裂性岩盤の透水性を高精度に予測するためのマルチフィジクスシミュレーション技術の構築

処分環境の変化を評価するために必要な熱-水理-応力-化学連成解析の計算負荷の低減のため、AI を活用したサロゲートモデル、大規模並列計算を活用したマルチフィジクスシミュレーション技術の構築に取り組んでいる。また、解析結果や処分場環境の状態を可視化する手法の構築や、研究成果をわかりやすく伝える手法としてもデジタル技術・AI 技術を活用している。

(b) 岩盤の割れ目観察の自動化に向けた暗黙知のデータ化の試み

処分坑道の覆工の際、限られた観察時間内に岩盤の割れ目を評価するため、写真から割れ目の成因を自動判別する技術が必要となる。深層学習を用いた割れ目の成因の自動判別モデルを作成し、モデルの着眼点と専門家の着眼点の比較を通して、モデルの判断根拠の明確化・妥当性確認を指向している。

(c) 花崗岩類に対する Cs の収着分配係数とその変動要因の機械学習による評価

JAEA が整備している収着データベースの花崗岩類に対する Cs の収着データから、データとその変動要因を AI により評価している。説明変数として固相や溶液の条件を入力し、収着データを目的変数として予測するための試行計算を実施した。

本セッションでは(a)~(c)の内、とくに(c)について計算の詳細と結果に基づく AI の適用性評価の報告があった。

3. パネルディスカッション

「放射性廃棄物処分における AI 利用の展望」

(東京大学 齊藤拓巳氏, 原子力規制庁 大塚楓氏, JAEA 北村暁氏, NUMO 柴田雅博氏)

研究機関、規制機関、実施主体の観点から、AI 技術の活用と今後の課題について議論を行った。主な論点としては以下の点があった。それぞれ、議論の要約と共に示す。

3.1 AI 技術の活用と課題認識

- 放射性廃棄物処分に関する分野においては、AI の活用について、ブラックボックス問題や出力結果に対する説明責任など課題が多い。
- AI を利用したモデル構築においては、その信頼性確保のため、物理モデルとの比較、複数モデルの投票方式など多様なアプローチが必要となる。
- 教師データや入出力データ等の整備・管理方法も重要な課題である。

3.2 規制対応

- AI を用いた事業に関する申請・審査においては、規制当局が納得できる説明が不可欠となる。
- 海外事例を参考にしつつ、日本における規制対応の在り方を検討する必要がある。

- 規制側・実施側でない第三者によるモデル・データ管理体制の構築が重要という認識で一致。

3.3 人材確保・育成

- AI・データサイエンス分野の人材不足が各機関で共通した課題である。
- 外部機関や大学院との連携、アウトソース化なども含めて人材育成案を検討する必要がある。
- AI の活用については既に幅広い分野で検討されており、原子力関係の業界内だけでなく幅広い分野からの人材確保が必要となる。

3.4 今後の方針

- 課題解決に向けた検討、新技術の導入に向け、多様な分野における AI 活用例を含む情報収集と、関係者間の情報交換を実施する必要がある。



写真1 パネルディスカッションの様子

4. 感想

私は NUMO でこれまでに AI 活用を主目的とした業務に携わってはならず、機構内での検討内容について把握している程度でした。そのため本セッションは、同じ地層処分を背景とした違う視点から AI の活用例を知ることができた貴重な機会となりました。計算負荷の低減を目指した計算結果予測などの順解析の方向性から、逆に限られた情報(結果)を元に地下環境を想定する逆解析の方向性など、さまざまな AI の利用可能性を感じられる活用例の報告には、大変刺激を受けました。また、技術開発における実際の AI の活用例だけでなく、実際の処分場建設において不可欠なプロセスである事業許可申請、規制対応に関する議論を聞くことができ、実施主体である NUMO に勤める一員として多くを学んだほか、未だ多い課題に対して今どうすることができるのか、考えるきっかけとなりました。本セッションは会場の座席が不足するほど多くの聴講者にお越しいただき、大変多くの専門家から注目を集めるテーマであるとの認識も新たにしております。専門家間による情報交換の重要性が今後の方針として取り上げられる本セッションではありましたが、本参加記が今後のバックエンド関連分野における AI 活用の議論をより活性化させるきっかけとなりましたら幸いです。最後に、本セッションにおける講演者、パネルディスカッションの登壇者、参加者の皆様、本企画セッションを開催いただいた学会・事務局の皆様に熱く感謝申し上げます。