

日本の地層処分に向けた自然現象の影響の確率論的評価手法

後藤淳一*1 西尾光*1 吉村公孝*1 ニール・チャップマン*2 河村秀紀*3

わが国は変動帯に位置することから、火山活動や断層活動などの自然現象の影響を考慮した地質環境の長期安定性は、サイト選定上の重要な評価事項である。NUMOは、将来の自然現象の影響に関する確率論的な評価手法の検討を進めてきた。これまでに開発した将来10万年程度の期間を対象とした手法を、100万年程度の期間に拡張するために、想定される地質変遷プロセスの起こりやすさ（確信の度合い）を多数の専門家の意見を集約することにより設定し、確率論的に評価する手法の検討を進めている。ここでは、この手法の概要について述べる。

Keywords: ハザード評価, 確率, 火山活動, 岩盤変形

Japan is located in one of the most tectonically active areas in the world and long-term stability of the geological environment in the context of tectonics, in particular volcanism and rock deformation, is a critical issue in repository siting. NUMO has been developing probabilistic methodologies for forecasting the susceptibility of regions and sites in Japan to tectonic hazards. To extend the analysis period from the initial 100,000 years to 1 million years, formal expert elicitation techniques have been used to obtain and include expert opinions on alternative conceptual models of geological evolution. The end result is probabilities of occurrence of future volcanism and probabilities of surface strain rates in a region and a site. The outline of the methodology is described in this

Keywords: hazard assessment, probability, volcanism, rock deformation

1 はじめに

わが国では、太平洋プレートとフィリピン海プレートの沈み込みに起因して、火山活動、断層活動、隆起・侵食などの自然現象が生じている。このような自然現象の変動が著しい場所は、日本全国どこにでもあるのではなく、特定の地域に偏在している。したがって、日本の地層処分のサイト選定では、まず、将来にわたって自然現象による著しい変動を受けやすい場所を除外する。そのうえで、地層処分の場となる地質環境の特性を把握するとともに、それらの長期的な変遷を理解することにより、閉鎖後長期の安全確保の見通しが得られる場所を処分施設建設地として選定する[1]。

将来の自然現象を予測する方法は、外挿による方法、類推による方法、現象論的モデルなどを用いた数値解析による方法、確率論による方法の4つに大別される。最も一般的とされる外挿による方法（外挿法）は、過去から現在までに発生した変動の傾向を明らかにし、その傾向を将来へあてはめる方法である[2]。NUMOの将来予測も外挿法を基本とし、事象および地域ごとに過去の情報の量・精度および地質構造発達過程を考慮し、前提条件を明示したうえで期間を適切に設定して行う[1]。遠い将来の予測については、遠い過去の情報が限られることから、不確実性がより大きくなる。確率論的な方法は、将来予測の不確実性を定量的に評価できる手法として、国際的にも広く用いられている。そこで、NUMOでは、外挿法に基づく評価手法とともに、以下の確率論的な評価手法を開発してきた。

2 確率論的評価手法の開発

Probabilistic tectonic hazard assessment methodologies for HLW disposal in Japan by Junichi GOTO (jgoto@numo.or.jp), Hikaru NISIO, Kimitaka YOSHIMURA, Neil CHAPMAN, Hideki KAWAMURA

*1 原子力発電環境整備機構

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

*2 MCM Consulting

Täfernstrasse 11, 5405 Baden, Switzerland

*3 株式会社 大林組

Obayashi Corporation.

〒108-8502 東京都港区港南2-15-2 品川インターナシティB棟

まず、将来10万年程度を対象とした外挿法による評価を補足するための確率論的評価手法を開発した。本手法では、火山の位置や地球物理データなどの情報やモデルに基づき、広域的な領域中の5km四方のサイトの火山活動と断層活動の発生確率を評価する。これまでに日本の代表的かつ対照的な地質条件をもつ東北地方と九州地方を対象にケーススタディを実施し、手法の適用性を確認した[3, 4]。

続いて、外挿法による評価の不確実性が大きくなる期間（例えば、将来10万年程度を超える期間）への適用に向けて、手法の拡張を行った。ここでは、プレート運動や広域テクトニクスの変遷、それに伴いサイト周辺で生じる自然現象の変遷、その結果生じる処分システムへの影響をシナリオとして設定する。それらをロジックツリーに統合し、確率論的な評価を行う。これまでに東北地方を対象にケーススタディを実施し[5]、現在、成果の取りまとめを進めている。

以下に、将来10万年程度を超える期間を対象とした手法を中心に紹介する。

3 確率論的評価手法の流れ

本手法は、次の3つのステップからなる（Fig. 1）。

ステップ1では、将来の時間枠ごとの変遷シナリオとロジックツリーを構築する。時間枠は、廃棄物の毒性などを考慮して、1万年後まで、10万年後まで、100万年後まで、というように設定する。広域変遷シナリオ（RES: Regional Evolution Scenario）は、時間枠ごとに考えられるプレート運動の状態を設定し、その設定のもとに生じうる広域的なテクトニクスの状態の変遷を設定するものである。サイト変遷シナリオ（SES: Site Evolution Scenario）は、各RESのもとにサイト周辺で生じうる自然現象を設定するものである。影響シナリオ（IS: Impact Scenario）は、各SESのもとに処分場あるいはその近傍で生じうる事象による処分システムへの影響について設定するものである。これらのシナリオをロジックツリーとして取りまとめる。

ステップ2では、専門家の意見集約（EE: Expert Elicitation）により、各シナリオの確信度（起こりやすさ）を設定する。ISにおける起因事象の発生確率は、初期に開

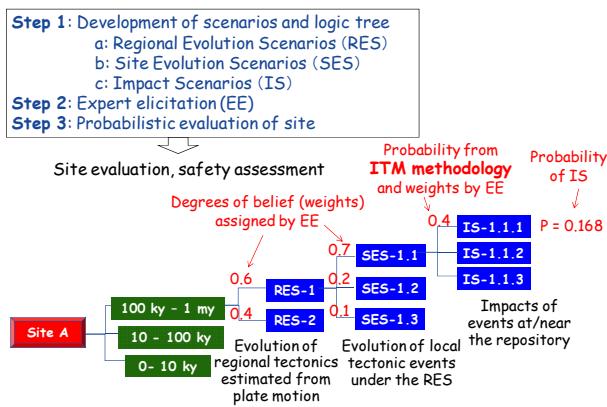


Fig. 1 Outline of the methodology

発した確率論的評価手法あるいはEEにより設定する。

ステップ3では、ツリーの各分岐に設定した数値を掛け合わせてISの発生確率を算出し、サイトごとのハザード評価を行う。

以下に、ステップ1,2について、東北地方のケーススタディの事例とともに示す。なお、ステップ3については、検討結果を取りまとめている段階である。

4 ステップ1: シナリオの設定とロジックツリーの構築

まず、日本列島周辺の過去数千万年前からの情報を分析し、現在～1万年後、1万年後～10万年後、10万年後～100万年後の3つの時間枠に対して、4つのRES (RES1～4) を設定した。RES1は現在から将来100万年にかけてプレート収束速度が現在のまま継続する、RES2はプレート収束速度が2倍になる、RES3はプレートの運動方向が変化する、RES4は太平洋プレートの沈み込み角度が急傾斜になるというシナリオである。

次に、地質条件の異なる4つのサイト (A, B, C, D) を仮設定し、上記4つのRESのもとに各サイトにおいて生じうる自然現象を概念的に記述したSESを作成した。日本海沿岸のサイトCの例では、RES2 (プレート収束速度2倍) を想定した場合、次の3つのSESが提示される。SES2.1は歪速度が現在の2倍になり、SES2.2は歪速度が現在同様、SES2.3は歪速度が現在の1/2になる、というシナリオである。SES2.1とSES2.2では、10万年～100万年の時間枠で生じる地殻変動により廃棄物が地表に露出し、SES2.3では、地下環境に保持されることが想定される。

ISについては、個別サイトの文献情報が限られていたため、シナリオ設定にかかる概念的な検討を行った。例えば、火山・火成活動の処分システムへの影響については、マグマの貫入・噴出や熱水対流によるTHMCの変化について考慮する。また、地震・断層活動の影響については、サイト近傍の断層の活動や未確認の断層の進展によるTHMCの変化について考慮する。

5 ステップ2: シナリオの確信度と起因事象の発生確率の設定

ロジックツリーの各分岐の確信度 (起こりやすさ) は、

透明性・中立性・公平性を確保しながら専門家の意見を集約する科学的な手法 (EE手法) [6]を用いて設定する。この手法では、専門家に対して事前に課題に関連する専門分野のテストを行い、正しい値を答える確からしさと回答の振れ幅 (不確実性) の考え方の傾向を示す二つの指標を得て、専門家ごとに重み付け係数を設定する。続いて専門家の議論において各専門家の意見 (回答) に係数を適用したうえで集約し、専門家の意見の総意となる回答と不確実性 (回答の取りうる範囲) を得る。ケーススタディでは、国内の専門家の協力を得て、一部のロジックツリーについて確信度を設定する演習を行い、基本的な手順を確認した。

各サイトにおけるISの起因事象の発生確率は、2の前半で述べた確率論的評価手法を用いて求めることができる。起因事象としての新規火山の発生確率は、カーネル法¹⁾やコックスプロセス法²⁾により求めることができる。起因事象としての岩盤変形 (例えば、5km四方の領域における2mの累積変位) の発生確率は、GPS、地震、地表変位のデータに基づく3つの歪速度モデルにより求めることができる。

6 まとめ

わが国の自然現象によるリスクを考慮したサイト選定や安全評価に向けた確率論的手法の基本的な枠組みを整備してきた。これまでには、ケーススタディとして限られた範囲の中での方法論の検討に留まっている。今後は、実用化に向けて、隆起・侵食の評価方法、より具体的な変遷シナリオの構築やEE手法の演習、サイト評価への適用方法などの検討を進める。

参考文献

- [1] 原子力発電環境整備機構：処分事業の安全確保（2010年度版），NUMO-TR-11-01 (2011).
- [2] 地質環境の長期安定性研究委員会：地質リーフレット4 日本列島と地質環境の長期安定性,日本地質学会(2011).
- [3] Chapman, N., et al.: Development of Methodologies for the Identification of Volcanic and Tectonic Hazards to Potential HLW Repository Sites in Japan,-The Tohoku case study-. NUMO-TR-08-03 (2009).
- [4] Chapman, N., et al.: Development of Methodologies for the Identification of Volcanic and Tectonic Hazards to Potential HLW Repository Sites in Japan,-The Kyushu case study-. NUMO-TR-09-02 (2009).
- [5] Chapman, N., et al.: TOPAZ Project Long-term Tectonic Hazard to Geological Repositories. NUMO-TR-12-05 (2012).
- [6] Cooke, R.: Experts in uncertainty - opinion and subjective probability in science. Oxford University Press, ISBN 0-19-506465-8 (1991).

1) 周囲の火山までの距離や活動頻度に基づき発生確率を算出する米国ユッカマウンテン等で用いられた手法。

2) 火山の分布密度と地球物理データ等との関連性を考慮に入れたミュレーションに基づき発生確率を算出する手法。