

## 論文の内容の要旨

論文題目 断層運動等の自然事象が周囲に及ぼす影響の超長期予測に関する研究

氏 名 秋 山 隆

### (概要)

原子力発電所などの重要施設の施設計画に際しては、建設場所の社会条件／自然環境に調和するように綿密な現地調査と詳細な解析に基づいた設計がなされねばならない。一方で、自然災害の可能性が高い我が国においては、地震などの自然災害の懸念から社会の理解が得られず、将来的にプロジェクトが白紙撤回されるリスクがある。

本研究においては、超長期（100 万年と設定）という自然事象への格別なる評価が必要となる重要施設の例として地層処分施設を取り上げ、自然事象からの影響範囲を予測して施設立地において好ましい範囲を可視化するための研究に取り組んだ。本研究成果を用い自然災害の懸念がある範囲を事前に抽出することができれば、その領域を予め避けて施設を計画することにより、社会の理解を得られずにプロジェクトが白紙撤回されるリスクを軽減することが可能になると考えられる。

### (地層処分施設を取り巻く流れ)

地層処分施設は、原子力発電所の運転に伴って発生する高レベル放射性廃棄物を、将来の人間の管理に委ねずに済むように、地下深くの安定した岩盤に閉じ込め、人間の生活環境から隔離するための処分施設である。2000年に原子力発電環境整備機構が設立され、処分地選定や建設操業を行う実施主体に位置付けられた。以降、処分地選定調査の受入れを自治体からの公募による方式で進めてきたが、現状において調査の実施には至っていない。

国は、国民や地域の理解と協力を得るために、地域の科学的特性を国から提示するための審議会を経済産業省内に立ち上げ、2017年7月に科学的特性マップを公表した。科学的特性マップは、地層処分に関係する科学的特性を、活断層、火山、地盤の隆起・侵食などの自然事象に関する既存の全国データに基づき、一定の要件・基準に従って客観的に整理し、全国地図の形で示したものである。マップの提示にあたっては、リスク要因として放射性物質の閉じ込め機能の損失、あるいは人間の生活環境からの隔離機能の損失などを考慮対象として、要因に応じた対策を施している。閉じ込め機能に影響を与える事象として、断層のずれを考慮対象の一つとし、地下施設内に存在する断層がずれると人工バリアの一部が破壊される可能性があることから、活断層に破碎帯として断層長さの1/100程度（断層の両側合計）の幅を持たせた範囲を好ましくない範囲としている。破碎帯以外にも断層の伸展・分岐が発生する可能性がある領域などを避けるべき範囲としているものの、具体的な評価方法は示されていない。活断層以外では、生活環境からの隔離機能の喪失の可能性として、著しい隆起・侵食を考慮対象の一つと

している。地下深部に設置した処分施設が岩盤と一緒に隆起し地表面が侵食されることによって、徐々に人間の生活環境と廃棄物との距離が接近し隔離機能が喪失する可能性があることから、今後十万年以内に隆起量が政令で定められた設置深度（300m以深）を超えるような場所を好ましくない範囲と定めている。

（本研究が目指すところ）

我が国における活断層・活褶曲等の活動を支配するテクトニックな応力状態は、数十万年～数百万年という時間スケールの中で一定の傾向を保ちつつ進行していると思われる。よって、10 万年オーダーの将来予測では現在のテクトニクス継続性を想定した決定論的な評価が可能とみられるが、一方で自然事象の影響範囲について決定論的な評価手法は確立されていない。そして、影響範囲を検討するにあたっては、断層パラメータなどに内在する誤差が生じると考えられ、プレート活動が一定と仮定してもなお残るバラツキの定量化が必要と考えられる。

そこで、本研究で提案する影響範囲予測手法においては、現在知られている我が国の活断層の地域性・断層タイプ等の活動特性、加えて隆起・侵食に関するデータを活用し、向こう 100 万年間の自然事象の影響範囲を提示するための考え方を示すこととする。さらに、事例分析に使用した基礎データが少ないことから幾つかの仮定を含むものの、提案した影響範囲予測手法を用いた具体的な確率論的数値指標を提示する。

（研究成果について）

活断層に関しては、その活動が施設の破壊や地質環境の悪化を招く恐れがあることから、断層活動による影響範囲を定量的に示す独自のモデルを開発した。

活断層による影響範囲の分析においては、我が国に存在する横ずれ断層・逆断層・正断層それぞれについて計 37 箇所の断層を用いた解析、検討を実施した。既知の活断層における、断層延長方向への伸展と断層の側方方向への分岐や派生による影響を平面的に検討した上で、活断層が処分施設へ及ぼす影響を決定論的あるいは確率論的に評価する手法を考案した。

断層延長方向の伸展距離に関する検討では、断層長と累積変位量の関係を断層タイプ・地域ごとに分析し、両者の関係式を導くに至った。この関係式に従って断層長が時間とともに伸展するという仮定に基づき 100 万年後の断層長を見積もることができる。さらに、断層長と累積変位量の関係は両者の関係式に対して誤差を示すことから、断層長の誤差分布を表す確率密度関数として対数正規分布を設定し、ここから伸展長の誤差を理論解として導くことにより確率論的な伸展長も得る手法を考案した。

断層側方の影響範囲に関する検討では、主断層とその側方に分岐・派生した断層との離間距離を活断層分布図上で計測し基礎データを整理した。整理したデータ群を統計解析することで、影響幅/断層長比の平均値を決定論的な予測値として与えることが可能となった。計測による影響幅/断層長比のヒストグラムは、正規分布の片側確率密度関数により近似されることから、断層タイプごとに確率密度関数を設定し、これにもとづく確率論的な影響幅を得た。なお、ここで得られる確率は、断層周辺に位置する任意の地点を基準として、「将来断層に分岐が生じた場合に、当該地点がその影響範囲に入る確率」を意味する。

隆起・侵食については、地下施設が隆起により地表へ接近し同じ量が侵食されるとすれば、地層による放射線の閉じ込め性能を期待できなくなる。このことから、海成段丘の分布高度や隆起速度を指標として、将来にわたる影響を決定論的あるいは確率論的に予測する独自のモデルを開発した。

沿岸域においては最終間氷期最盛期(約 12.5 万年前)の海洋酸素同位体ステージ (MIS5e) に形成された海成段丘の形成年代や標高が高い精度で知られていることから、地形的に読み取られる旧汀線 (段丘面上の過去の海岸線を示す地形) と形成時の海面高度との差から精度良く隆起速度を知ることができる。しかし、この手法においても平均隆起速度等の想定には、データ不足や地層の風化などの侵食に伴う様々な誤差を含むと考えられる。そこで、本研究では、特に海成段丘の旧汀線高度の認定精度を事例から検討し、確率論的評価手法により評価期間における施設の隆起量を提示するモデルを構築した。

具体的には、MIS5e 相当海成段丘を隣接地点における MIS5c (約 10 万年前、南関東の小原台面相当) に相当する海成段丘と比較し、両者の隆起速度が等しいという前提のもとに MIS5e 相当海成段丘における旧汀線高度の認定誤差を統計的に検討した。それぞれの旧汀線高度を組み合わせた値をグラフにプロットした時、そのプロットを近似する直線は形成年代の比を示すことになり、近似直線に対する偏差を検討すれば最終間氷期海成段丘の旧汀線高度の認定誤差を見積ることができる。

本研究により開発した活断層や隆起による影響範囲予測手法は、特に確率論の解に関しては直感的に判断することが大変難しい。そして、新規火山の発生確率など他の自然現象の影響範囲を併せて考えるためには、可視化の技術が必要不可欠と思われる。そこで北海道を例とした活断層の将来的な影響範囲の可視化を試みるとともに、地層処分の技術要件として必要となる他の自然事象の影響範囲も含めてそれらの影響を視覚的にかつ空間的に把握するための、リスク影響範囲を可視化する手法について検討した。将来にわたる自然事象の影響範囲を可視化する手法は、高レベル放射性廃棄物の立地場所の検討やスクリーニングする際に非常に有益な判断資料となる。そして社会に対する説明資料としても、効果を発揮するであろう。

(まとめ)

我が国では、自然災害が社会的な問題となることが多く、特に重要な土木構造物の構築においては、予め自然事象による影響を避けた場所に計画することが望ましい。社会資本を効率的に整備していく使命を帯びている土木技術者として、プロジェクトの手戻りをなくし地点選定の透明性を高めるためには、まずは机上のデータから一定以上の自然リスクを免れる地域を抽出する手法を開発せねばならないと考えた。

本研究成果を用いることにより、超長期にわたる断層活動の影響範囲、あるいは隆起・侵食の影響を想定することが可能になる。つまり、自然事象からの影響を最小限にするべき施設において、施設に相応しい候補地の領域を地域ごとに事前に想定することが可能となり、現地を詳細に調査する段階での候補地変更のリスクを大きく低減することができる。

また、成果を応用すれば、シビアアクシデントの検討などに用いる確率論的な自然事象に係

るデータを提示することも可能になる。加えて、一般構造物においても、設計者は活断層を避けるだけでなく、施設の重要度や事業者が許容するリスクとの関連で施設の計画を避けるべき範囲を知ることができる。換言すると、影響範囲に施設を計画するのであれば、十分な地質調査／影響評価／対策が必要になることを事前に認識し、必要な手立てを当初から準備することが可能となり、コスト削減にも寄与すると考えられる。