

P6. データフローダイアグラムと階層分析手法を用いた

地質情報の不確実性表現手法の検討

An evaluation of uncertainty analyses on geological data
based on combined use of data flow diagrams and hierarchical logic analysis.

○松崎達二・天野健治・中安昭夫・笹本広・仙波毅(日本原子力研究開発機構),吉田英一(名古屋大学博物館)

Tatsuji Matsuzaki, Kenji Amano, Akio Nakayasu, Hiroshi Sasamoto, Semba Takeshi, Hidekazu Yoshida.

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分における安全評価や施設設計の信頼性を確保・維持するためには、調査に伴う理解度や不確実性に関する情報を、データの取得者から使用者に正確に伝達することが重要となる。特に候補地点の選定に際しては、調査初期ほど情報の不確実性が大きく、関係者間の認識のずれが生じやすい。また、概要調査や精密調査¹⁾で実施される各種の地質環境調査で取得したデータや解釈に含まれる不確実性を表現する基準が定められていないことが多く、調査者の知識・技術レベル・経験等によって異なる評価結果が導かれる可能性がある。そこで本研究では、解釈結果に不確実性が生じる原因とその解釈過程での伝播を表出化することを目的に、データの取得から解釈に至るまでの過程を可視化した図(統合化データフローダイアグラム)と階層分析手法を組み合わせたアプローチを考案し、北海道幌延町沿岸域周辺での調査事例への適用を試みたので、その概要を紹介する。

2. 不確実性の取り扱いについて

地質情報に関わる不確実性やリスクについては、社会的貢献を前提とした事業上のリスクマネジメントの観点から着目されており、その分類・評価・低減の重要性などの議論が進められている^{2,3)}など。その内、脇坂(2010)³⁾は、リスク・不確実性について表1のように整理し、段階的調査の過程においては②～④が混在した状態で内在しており、その状態と確率(存在確率や生起確率)を把握しておくことの重要性を指摘している。

表-1 リスク・不確実性に関わる用語³⁾より

①	確実性	何が起るか確定的にわかってる。
②	リスク	何が起るか確定的にはわからないが、起こりうる状況はわかっており、かつその確率分布が解っている。
③	不確実性	起こりうる状態はわかっているが、その確率分布が解っていない。
④	無知	何が起るかどのような状態が起こりうるか全く予見できない。

また、横田(1989)⁴⁾は、土木地質の観点から地盤情報の空間分布に関わる確からしさの取り扱いについて、その解釈情報に着目して、表現方法と伝達方法の方向

性について論じている。地層処分分野でも同様の考えで、リスク、不確実性といったものの空間分布の把握・表現に取り組んでおり、Kurihara, et al.(2010)⁵⁾は、精密調査相当での調査データを基とし確率論を用いた表現方法について検討している(②相当)。本研究では、データ量の乏しく確率的検討が困難な文献調査～概要調査相当¹⁾での表現手法について検討した(③～④相当)。手法検討に際しては岩盤評価の空間分布に関する表現手法に絞って検討した。なお、広義的な名称として以下では、②～④を不確実性と呼称し記述する。

3. 手法検討

地層処分で、地質環境のうち対象岩盤に調査初期段階で期待する必要条件は、大局的に2項目である^{1,6)}。

- (a) 対象岩盤が十分な深度に分布し、かつ十分な空間的拡がりを持つこと。
- (b) 対象岩盤が地下施設を建設できる力学的安定性を有すること。

ここで課題となりうる点としては、(a)に対して対象岩盤や境界条件の位置情報の精度(分解能)向上、(b)に対して物性値とその分布の確度向上があげられる。よって、本検討では、精度・確度向上過程での不確実性の空間分布とその変遷過程を表現することを具体的な目標として設定した。また、岩盤評価の空間分布に内在する不確実性は、調査データの質と量や、定性的解釈・類推の確からしさに起因して生じることから、次の2つを組み合わせた表現方法とした。

(1) 位置情報に関わる精度(分解能)の表現方法

位置情報の精度(分解能)は、直接データの有無とその種類・組み合わせに大きく依存する。このため、基礎的な精度(分解能)の表現として、調査項目の有無とその組み合わせにより空間を分割し、かつ精度の差を分割単位(セル)の大小として表現するものとした。

(2) 特性値情報の確度の表現方法

特性値(物理・力学特性など)の空間分布は、直接調査(ボーリングなど)での取得と、間接的調査(物理探査)を用いた対比解析による外挿により求められる。このため、特性値の空間分布の確度は、直接調査での定性的・定量的データによる評価結果と、間接調査のデータ品質および外挿手法の論理的過程・根拠に依存する。このため、特性値の空間分布の確度表現には、取得・

解釈情報の確からしさと、外挿手法の確からしさの双方に着目し、その解釈に至る評価・判断過程を、命題として分解し、階層分析手法を用いて点数化し表現するものとした。具体的な点数化には、ESL(Evidential Support Logic)⁷⁾を用いた。ESLは、命題とその補助命題との関係を階層構造として表現し、その命題間の相互関係について、重みづけを表現する十分性を介して、支持確率、否定確率、として確からしさの度合いを数値表現する手法である。

また、論理的評価過程を分析し、その命題設定と階層構造構築には、統合化データフローダイアグラム⁶⁾を用いた。これは、多岐分野にわたる(a)地質環境調査から(b)解析を経て(c)特性評価結果の取得までの一連の作業・解析過程と相互依存関係を系統的にトレースし、連関性を含めて整理・記述したフロー図である。この統合化データフローダイアグラムを上記(c)から(a)へと逆向きにトレースし命題化・階層構造化することで、主要命題の漏れや命題間の論理上の連関性を漏れなく記述した。以上のESLと統合化データフローダイアグラムの2つを組み合わせたアプローチによって、特性値の確度を表現するものとした。

4. 幌延沿岸域への適用例

構築した本手法を北海道幌延町の沿岸域周辺での調査例⁸⁾などへの適用を試みた。幌延沿岸域での地質環境調査は、数年間に及ぶプロジェクトとして、段階的に実施され、その段階に応じて調査データの蓄積および地質環境の評価解釈の更新を行っており、本手法の適用先としての好例と言える。

調査地域の概要として、対象地盤は、新第三系堆積岩類～第四系未固結堆積物であり、緩やかな褶曲構造を有する。調査対象範囲は、陸域～海域にかけての延長約20 km、幅約10 kmの範囲で対象深度は約2 kmである。調査主要項目は、陸域～海域にかけての物理探査(電磁探査、反射法地震探査)、深層ボーリング調査である。今回の表現手法を、幌延沿岸域の主測線断面(延長約20 km、深度2 km)に適用を試みた。

精度(分解能)表現として、上記範囲を分割(約200セル)し、調査項目の有無とその組み合わせにより調査段階を7つとし分割単位(セル)の大小を設定した。また、特性値情報の確度表現として、最上位命題を「力学的安定性を有する岩盤が存在する」として、命題を階層構造化し、分割単位(セル)ごとに支持確率、否定

確率を求めた(図-1(1))。さらに、セル相互の相対値として、直接調査により最上位命題を確定的に満たすセルでの値(支持/否定確率)を基準として、各セルの値(支持/否定確率)との比を求めた(図-1(2))。

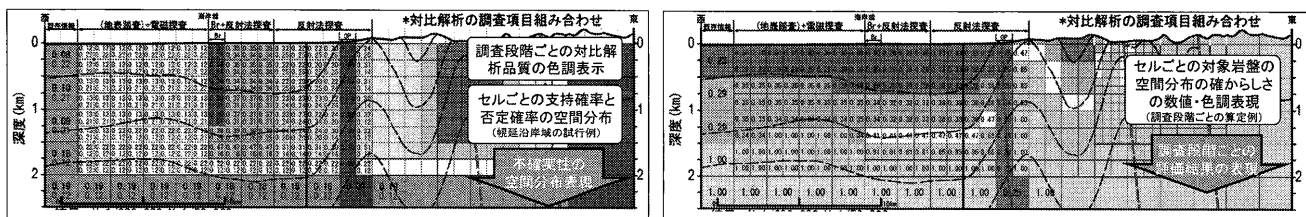
5. まとめ

以上の結果、存在確率や生起確率までには至らないものの、本アプローチにより、空間的分布および調査段階ごとの変遷過程での不確実性の度合いを定量的に表現することが可能となった。今回の研究では岩盤評価に絞り検討したが、地質環境の他分野(水理・水質など)の空間分布への適用や他地域への適用性が今後の課題である。

* 本研究は経済産業省の平成24年度委託事業「地質環境総合評価技術高度化開発」の成果の一部である。

6. 文献

- 1) 原子力発電環境整備機構(2011): 地層処分の安全確保(2010年度版)-確かな技術による安全な地層処分の実現のために- NUMO-TR-11-01.
- 2) 地質調査総合センター(2008): 地質リスクとマネージメントー地質事象の認識における不確実性とその対応ー, 地質調査総合センター研究資料集, no. 472, p.42.
- 3) 脇坂安彦(2010): リスクマネジメントにおける地質学的解釈の重要性, 地質ニュース, no.675, pp.52-66.
- 4) 横田修一郎(1989): 地質情報の伝達媒体としてみた土木地質図, 応用地質, vol.30, no.3, pp.23-32.
- 5) Kurihara, A., et al. (2010): Quantitative evaluation of fault distribution uncertainty: Applicability of an analytical method for evaluating 3-D geological models in the Mizunami Underground Research Laboratory Project, Proc. Int. Symp. Earth Sci. Tech. 2010, pp.453-456.
- 6) 大澤英昭ほか(2008): 地質環境総合評価技術高度化開発一次世代型サイト特性調査情報統合システムの開発ー, JAEA-Research 2008-085.
- 7) 若松尚則ほか(2007): 水理地質にかかわる地下環境影響評価への Evidential Support Logic の適用, 応用地質, vol.48, no.1, pp.2-14.
- 8) (独)産業技術総合研究所(2011): 平成22年度沿岸域塩淡境界・断層評価技術高度化開発 成果報告書, ISSN 1881-8838.



(1) 調査段階区分と支持確率・否定確率の空間分布

(2) (支持/否定確率) 値を用いた、各セル値と確定的基準値との比の空間分布

図-1 不確実性の空間分布表現の例 (縦横比 1 : 4)