

# 原発耐震安全審査における活断層評価の根本的問題

活断層を見逃さないために何が必要か？

鈴木康弘<sup>\*1</sup>・中田 高<sup>\*2</sup>・渡辺満久<sup>\*3</sup>

すぎき やすひろ

なかた たかし

わたなべ みつひさ

<sup>\*1</sup> 名古屋大学大学院環境学研究科, <sup>\*2</sup> 広島工業大学環境学部, <sup>\*3</sup> 東洋大学社会学部

世界最大を誇る柏崎刈羽原子力発電所が、 $M6.8$ に過ぎない中越沖地震によって「想定を遙かに超える地震動に見舞われた」という事実は深刻である。中越沖地震の震源域となった原発沖合の海域に、電力会社は顕著な活断層はないと判断し、政府の審査においても追認されてきた。しかし設置許可申請書に掲載されている音波探査記録を見れば、大規模な活断層の存在を示す明らかな証拠があり、それを見逃していたことが、想定地震動を過小評価する原因となった可能性がある。

内閣府の原子力安全委員会は「電力会社による新たな調査結果を待って活断層評価を見直す」とする一方、「審査時点の知見にもとづく当時の判断は妥当」としている。これに対し、筆者らは、当時の判断の問題点を明確にすることこそが、今後の活断層評価の適正化にとって最重要と考える。

本稿では、公開されている原発設置許可申請書に掲載された、1980年代の音波探査結果を再解析することにより、海底活断層を認定する際に何が見逃されていたかを検証し、再解析の結果にもとづいて、中越沖地震の震源海域における活断層分布の全体像をまとめる。余震観測や地殻変動データからは、中越沖地震の震源断層がなかなか判然としませんが、この地域の活構造は南東傾斜の逆断層が主体であり、今回の中越沖地震もこうした断層が震源となった可能性が高い。本稿は設置許可申請書に掲載された資料のみにもとづく予察的な検討であるが、活断層の長さは20 kmを超えることは確実で、この海域全体では30~50 kmにもおよび、 $M7.3$ 以上の地震も起こりえる<sup>\*1</sup>。

## 活断層認定の基本とは

1983年に設置認可された柏崎刈羽原発2号炉・5号炉、および1987年認可の3号炉・4号炉審査の際、沿岸方向60 km、沖合30 kmまでの範囲で、総延長1670 kmの音波探査調査が実施された。この海域では、大陸棚から佐渡海盆に下る陸棚斜面や、佐渡堆から佐渡海盆にかけて連続する急斜面等、断層運動などの地殻変動に深く関連する海底地形が発達している。1980年代の音波探査記録は、海底面下400 m程度の深度までの地質構造を明らかにしているが、深い部分の構造はよく見えない。このため、上述のような特徴的な地形(変動地形)に沿って地層の撓みが見えても、その下の断層面そのものは見えないことも多い。

しかし、そもそも活断層認定は、断層面が「見えたか」「見えなかったか」には過度に依存しない。第四紀後期以降(およそ数十万年前以降)の地層が「狭い範囲に急激に撓みこんでいる」など、「地下深部に断層運動を想定しなければ物理的に説明し得ない現象」を見逃さないことが活断層認定の基本である。「他の要因では説明し得ない状況証拠」は、直接証拠と同等であるというのは、論理的にも当然である。

<sup>\*1</sup> 本稿脱稿後の12月5日、東京電力は、長さ23 kmの活断層が存在することを認めた。しかし、活断層の認定において依然として不十分な点があり、新たな調査結果の早急な公開が望まれる。

2006年に改訂された原発耐震設計審査指針(新指針)には、「変動地形学的調査」という言葉が初めて導入された。変動地形学的調査にもとづく認定とは、地形や表層地質の空間分布の特徴から、「活断層が存在することを否定し得ない状況証拠」を論理的に明示することである。この手法は1980年代にはすでに確立され、原子力分野以外では主流であり、それにより主に陸上の活断層について、『日本の活断層』(東京大学出版会)、『都市圏活断層図』(国土地理院)などの活断層分布図が作成・刊行されてきた。しかし、これまでの原発耐震安全審査の際の活断層評価においては、こうした変動地形学的認定が重要視されず、島根原発や志賀原発などにおいて重大な問題が生じている。

陸上のみならず海域においても、次節で詳しく述べる通り、原発耐震安全審査の際の活断層評価においては、断層面が見えるかどうかを重視され、見えない場合には「活断層はない」と判断されて

きた。政府の言う「当時の知見および判断」が、「直接証拠以外は重視しない」というものであるなら、「音波探査記録に見逃しがあった」と今日われわれがいくら指摘しても、「当時の審査としては妥当」という公式見解は成立するのかもしれない。しかし、重要構造物を設計する際の姿勢として、直接証拠しか重視しないというのは決して妥当とは言えない。

現在進められている電力会社や調査機関の新たな調査によって、今後、活断層の存在がさらに明確になることは間違いない。しかし、その際に重要なことは、「新たな調査で初めてわかった」と声高に述べ立てるのではなく、「従来の調査結果(すなわち状況証拠)からでも十分に活断層の存在が指摘できた」ことを確認することである。新たな探査による直接証拠の取得は、確かにサイエンスを進歩させ重要であるが、そればかりを重視するような姿勢は、直接証拠が見つからないことを理由にした見逃しを、今後も繰り返す危険性を大

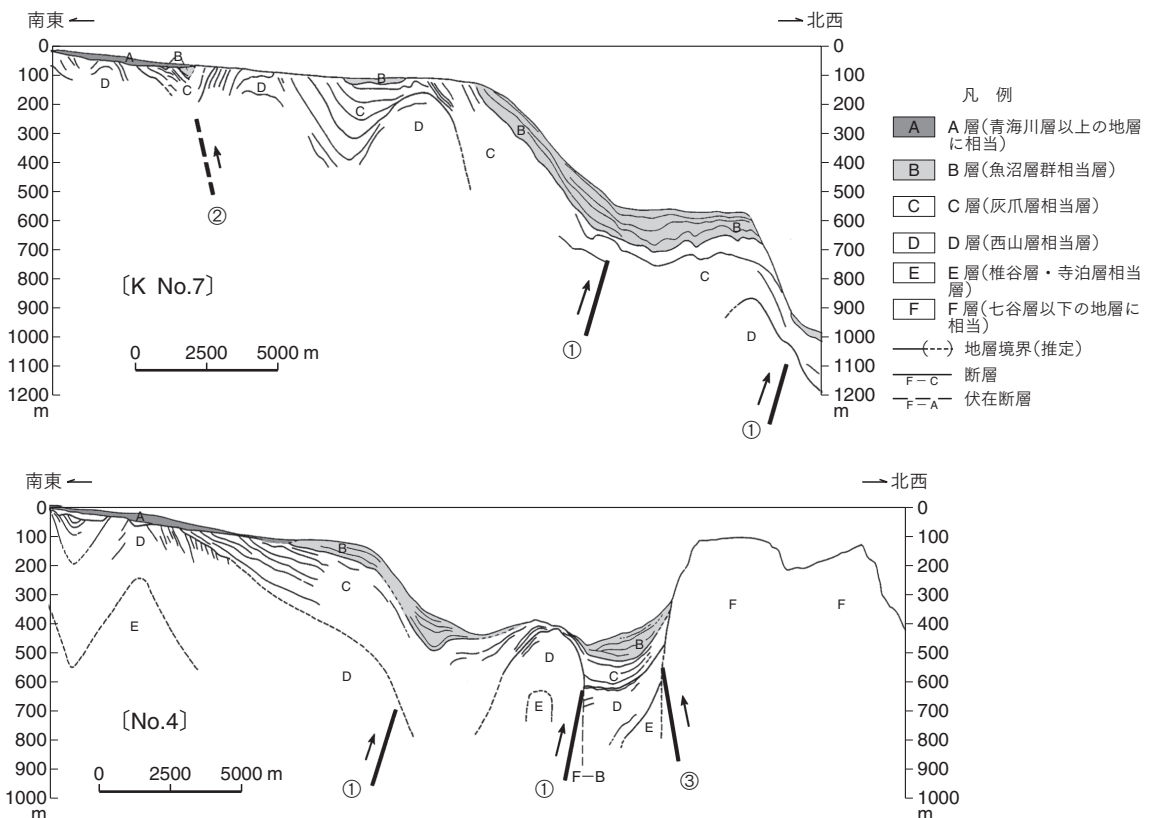


図1——柏崎刈羽原発の設置許可申請書に掲載された中越沖地震震源海域の音波探査記録の例。上：測線K No.7，下：測線No.4。測線位置は図4に示す。①～③は図4と図5に示す活断層。

いに孕む。

## 音波探査結果の解釈の問題点

設置許可申請書には、音波探査の全測線のうち、約3分の1の解釈図が掲載されている。これらの断面図には活断層による明瞭な変位が数多く確認される。典型的な例として、原発沖合の2測線を図1に示す(測線位置は図4参照)。図1に見られる地層のうち、A層およびB層は、第四紀の青海川層および魚沼層相当とされ、活断層を認定する上で重要な地層である。それらの地層が激しく変形していることから、図1に示す地質断面においても数多くの活断層が認められるべきであるが、従来の原発耐震安全審査においては、測線No.4に1カ所(F-B)しか認められていない\*2。

なぜこのように断層が見逃されてきたか？ その理由は以下に述べるように、①断層の空間的連続性の考慮不足と、②切れていなければ「変位なし」とする判断、に問題があったと考えられる。

### (1) 空間的連続性を考慮すべき

原発耐震安全審査の際に断層が認定された例(測線No.4)とされなかった例(測線No.7)を図2に例示する。測線位置は、いずれも柏崎刈羽原発沖にある(図4参照)。測線No.4においては断層面が音波探査の映像に「見える」ため、断層が認定され、F-Bと命名されている。この断層の動きに伴って、D層やE層、およびC層・B層の一部がF-Bの南東側で高まっている。一方、測線No.7においては、断層面は「見えない」ものの、No.4と同様にC層・B層が太い矢印付近で南東上がりに隆起している。すなわち、No.4とNo.7では、断層面の可視性に違いがあるものの、結果としてB層・C層のような地層が隆起して

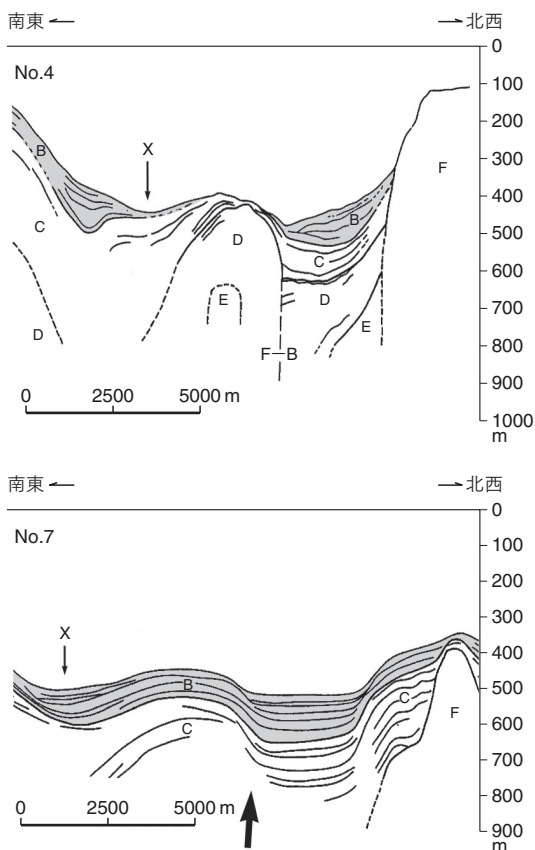


図2——柏崎刈羽原発の耐震安全審査の際に断層の存在を認めた例(上)と認めなかった例(下)。凡例は図1参照。

いることには違いがなく、このような隆起は、より深部の断層運動によってしか説明できない。

空間的な連続性をどの程度検討すべきかは、海底地形図(図4参照)で判断できる。図2の測線No.4において、F-Bによる隆起は幅3km程度の高まりを形成し、X付近は沈降して凹地となっている。このような変形は、海底地形として測線No.4~No.10の間に明瞭に現れている。測線No.10においても、従来の評価では断層が認定されていないが、これも不相当である。

このように、海底地形を念頭に、断層の空間的連続性を考慮し、一部でも断層の直接証拠が確認できれば、その延長上にも活断層を推定することが必要である。

### (2) 切れていなければ「変位なし」ではない

測線No.4(図2参照)に示されたF-Bについて、政府の耐震安全審査書には以下の表現がある。

\*2 従来の指針において「活断層は5万年前以降に活動したものとされ、B層はこれより古いから関係ないという判断があったかもしれない。しかし10万年前~5万年前頃を境に急に活動を停止した活断層はほとんど知られていない。B層全体が変位していれば活断層である可能性を否定できない。

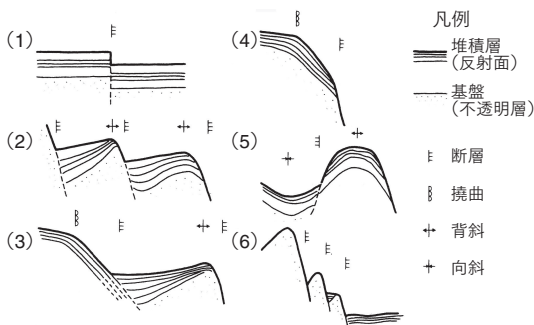


図3——海底活断層の認定基準。『日本の活断層』(東京大学出版会, 1980)より。

「F-B断層は灰爪層(C層)相当層に変位を与えていないため、第四紀後期における活動はない」。審査書で用いられている「変位」とは、「断層変位」に限定していて、C層には断層による切断はない、ということであろう。

しかし、一般に変位とは、上下に持ち上げられている現象に対して当然用いられる用語であり、事実としては「C層は変位している」。そして、わずか200 m下にはF-B断層があり、C層が幅1 km以内の狭い範囲で激しく変形していることから、断層とは無関係に地層が褶曲しているなどは、決して考えられない\*3。すなわち、C層に生じている変位の原因を考察すれば、数百m下の断層のずれは容易に推定され、その活動時期がC層やB層の堆積時期以降にも継続する、と考えるほうが自然である。断層活動が止まったと判断できるのは、上位を覆う地層が水平のまま、まったく変位していない場合のみである。政府の安全審査書にある上記の記載は妥当とは言えない。

図3は、1980年に刊行された『日本の活断層』に示された海底活断層の認定基準である。音波探査では断層そのものが見えにくいことも念頭において、特徴的な地形と、地層の連続性によって活断層を認定する基準が示されており、このう

\*3 地球表層の地震発生層は、上部地殻の厚さ(10~15 km)に相当する。地層が断層を伴わず褶曲する場合、褶曲の波長はその厚さ相当以下にはなり得ない。したがって褶曲のうち、その波長(急に地層が撓み込む幅)が1 kmもしくはそれ以下である場合、厚さ10 km以上の上部地殻全体が褶曲しているとは考えにくい。地下数百 mもしくは数 kmの深度では、断層に移化していきなくてはならないはずである。

ちの(5)のパターンが今回の海域の多くの音波探査断面に合致する。1980年の時点で、こうした認定法が標準であったことを明確に示している。

\* \*

ところで本稿は、あくまで設置許可申請書に掲載された解釈図からの考察である。この資料は公開されており、1983年の2,5号炉審査時、1987年の3,4号炉審査時、1991年の6,7号炉審査時に繰り返し検討されてきた。

今後は、設置許可申請書では掲載を省略された記録も含め、全測線の生データ(一次資料)から、詳細な地質構造を確認し、上述の考察結果の妥当性をさらに確認する必要があり、筆者らはすでにその作業に着手した。

### 活構造から見た中越沖地震

図4に、以上の音波探査断面の解釈により作成した活断層分布図を示した。図中の●は音波探査断面から明瞭な活断層変位を読み取れる地点、○はやや不明瞭ながら活断層が推定される地点を示している。それらを繋ぐと、活断層の連続性が確認され、海底地形と一致していることがわかる。変動地形学は、地形の成因論にもとづいて活断層の連続性を考察する。この図はその有効性を改めて示しているとも言える。

大局的にみれば、佐渡海盆の東縁に位置する断層(図4の①)は南東傾斜であり、中越沖地震の震源域にかかる断層として最も重要である。長さは30~50 kmに及ぶ。

③も長さ30 km以上あるが、断層面は北西傾斜であるため、中越沖地震の震源域にはかからない。②は水深100 m以浅の大陸棚上にある。この部分は最終氷期に海面が低下した際に浸食され平坦化されているため、変位地形および新しい地層の保存が悪く、断層の活動性を十分評価しきれない。

図5は、中越沖地震の震源海域の海底地形と、活断層を模式的に描いている。中越沖地震の震源域にかかる断層は①と②であるが、図1で両者の



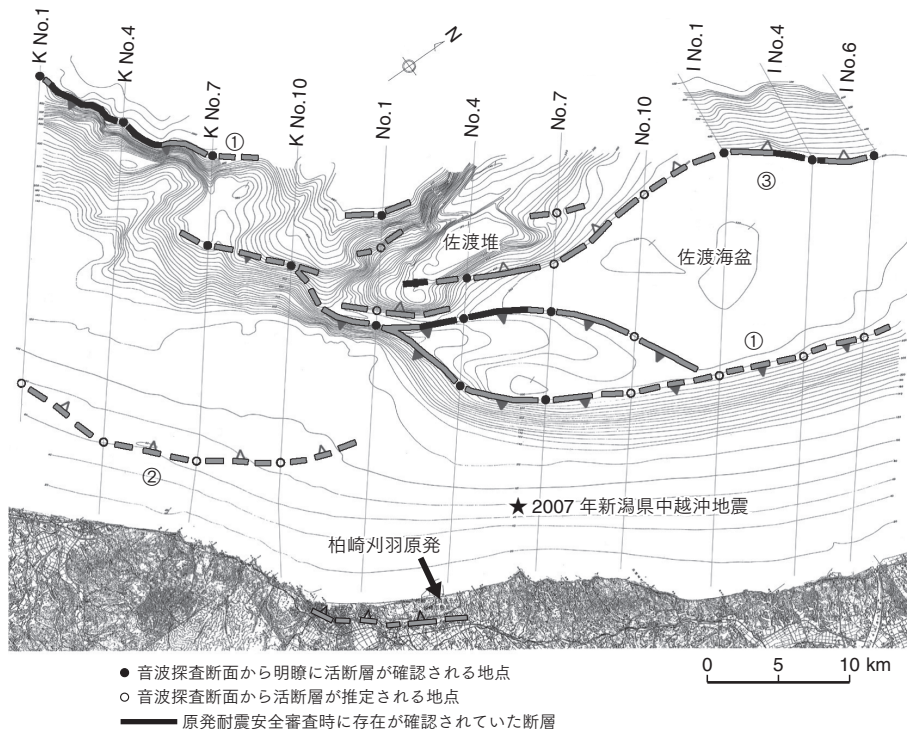


図4—中越沖地震の震源海域の活断層分布図。音波探査記録の再解析により多くの海底活断層が認定されるが、原発耐震安全審査の際に断層として認定されたのは■で示すもののみだった。△、▲は断層面の傾斜方向。●、○は筆者らの検討結果である。海底地形は設置許可申請書による。

変形を比較すると、①による変形は東西幅5 kmを超え、第四紀の魚沼層(B層)に400~500 mの上下変位をもたらしているのに対し、②による変形は東西幅1 km以下、魚沼層の上下変位は最大100~200 mであり、明らかに①の構造のほうが主である。

以上のことから、中越沖地震の震源海域の活断層の構造は、南東傾斜の主断層と、北西傾斜の副断層から構成されていることがわかる。南東傾斜の活断層①が30~50 km程度の長さを有することから、 $M7.3\sim7.7$ 程度の地震が想定され、今回の中越沖地震はそのような場において、それよりひとまわり小さな規模の地震であった可能性がある\*4。

なお、図4に示すように柏崎周辺の陸域にも活断層があり、原発は活褶曲上に立地している。今

回の中越沖地震ではこの活褶曲が成長した可能性もあり、活褶曲を形成する原因となった活断層が副次的に小規模な活動をした可能性もある。これらの問題の詳細については別稿に譲る。

#### 新たな調査には何が求められるか

中越沖地震の震源断層の正体を確認するためには、海底に地震断層が出現したかどうかを調べることが最重要である。中越沖海域の水深は、沿岸部の大陸棚で140 m以浅、海盆底では500 m以深、と大きく異なる。地震断層出現の可能性が最も高いのは、水深500 m付近の大陸斜面基底付近であり、この深度の海底調査は容易ではない。地震断層の出現を確かめるためには、海底面、および海底下の浅い地層の変位を調べることが必要であり、音波探査機を海底近く曳航する深海曳航法こそが重要であるが、現時点までにそのような調査は行われていない。

柏崎沖に長大な海底活断層が存在することは、

\*4 海底活断層の長さについては、音波探査海域が佐渡海盆全体を覆っていないため、調査海域の外まで延長する可能性もある。地震時に一連で破壊する断層がどれだけの長さを有しているかについては、音波探査の生データを解析して再検討することが必要である。

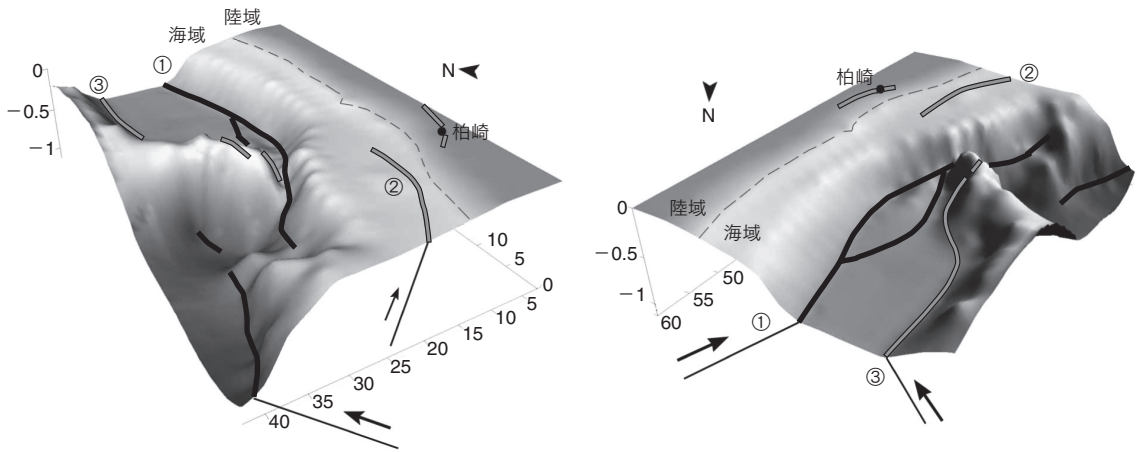


図5——中越沖海底活断層模式図。左：南西方向，右：北西方向からそれぞれ俯瞰。数字の単位は km。

すでに述べたように、設置申請時の調査によってわかったはずである。すなわち、新たな調査によって、より詳細な情報が得られるとしても、それによって活断層の存在が初めて明らかになるのではない。また、「深度数 km～10 km 程度を探索して断層を直接“見る”ことが重要だ」という意見も聞かれるが、仮に深い構造を探索しても、その結果見えてくる構造が「活着している」かどうかは、海底地形および海底浅部の地層の変位に依らなければ判断できない。地表(海底)で活断層が確定した場合に限り、その下に続く断層面を活断層と判断できる。繰り返しになるが、活断層の存否の判断において、そもそも直接的に「断層面が見える」ことは必ずしも重要ではない。

### いま確認されるべき2つのポイント

柏崎刈羽原発の過去の審査には誤りがあり、その責任は重大である。しかし、この小文をまとめた目的は、単に過去の審査の誤りを批判することではなく、その繰り返しを避けるために改めるべき点を明確にすることにあつた。審査結果が「当

時の知見においても」妥当なものではなかったことは明らかであり、今後の新たな調査を待たなければ事実がわからないわけではない。柏崎刈羽原発で確認された活断層認定の誤りは、他の原発においても起きている可能性があり、早急に従来のデータを見直す必要がある。

過去数十年間、地震活動が比較的静穏な時代であつて、「活断層はまず地震を起こさない」という油断や、「活断層の存在を取って想定しなくても通常の設計余力で十分耐震性を守る」という目算があつたのかもしれない。しかし、2006年の耐震指針の見直しによって、少なくとも活断層認定の精神は大きく変革されるべきであると確認された。それを保障する上でも、現在進められている既存原発の耐震性の再評価(いわゆるバックチェック)において、①直接証拠ばかりを重視する誤りを繰り返さないことが重要である。また、②新たな調査結果ばかりに依存せず、従来のデータを見直すことこそが活断層見逃しを許さないために不可欠である。この2つの重要性について、今こそ、正当に議論されることを切望して止まない。