Mottainai
もったいない学会 WEB 学会誌 Volume 1, pp. 50-53
An Electronic Journal of The MOTTAINAI Society Online ISSN 1882-2975

解説

三次元地震探査の有用性について

横田　俊之 [1]

投稿受付：2007 年 10 月 17 日　受理日：2007 年 10 月 24 日　WEB 公開日：11 月 22 日

要旨

三次元地震探査は、今まで抽出し得なかった断層まで抽出することができる。これまで、活断層調査に対する適用例は少ないが、その理由は単に費用がかかるためであり、安価な二次元探査で十分満足できる結果が得られる、という判断があったためである。

日本には多数の活断層が存在し、その多くの性状が良く知られていないというのが現状である。活断層は、比較的小規模でも、我々の生活を脅かす直下型地震の原因になり得る。阪神淡路の例を挙げるまでも無く、そのような地震は多大な被害を引き起こすが、原子力発電所のような重要建造物がひとたび地震被害を受けるとその影響は多岐にわたり、たいへん深刻なものとなる。従って、いかに精度よく活断層を抽出するかは非常に重要な問題である。

本稿ではまず、二次元および三次元地震探査の相違点について簡単に説明する。続いて、三次元の地質構造調査に、二次元地震探査を用いた場合、地下構造解釈を誤る可能性の一例を示す。以上により、三次元地震探査の有用性および必要性を論じる。

【キーワード】：三次元地震探査、活断層調査

１．　はじめに

三次元地震探査は、従来までの技術では抽出し得なかった複雑な地下構造まで抽出することができる、最先端の地下探査技術である。この技術はすでに石油探査の分野で開発され、実用化されており、油田掘削前には標準的に実施されるようになった。一方、地震防災に関連する、活断層調査に対する三次元地震探査適用事例は少ない。その理由は単に費用がかかるためであり、それよりも安価な二次元探査で我々の要求を十分満足する、という判断があったためである。その判断は、本当に妥当なのであろうか?

わが国は、人間が感じる有感地震が、年間 2000 回以上も発生する、世界でも有数な地震発生国である。そのうちのいくつかが、我々の生活に被害を与える、いわゆる被害地震となる。その際、報道などで、直下型地震という言葉が良く聞かれる。地震学での地震の分類では、直下型地震という特別な地震があるわけでなく、被害地の真下にある断層が活動し、その上に住んでいる人や、建物がそれにより被害を受けたという、被害を受ける人や建物の視点からの用語である。

地震波は、震源から離れるにつれ振幅が弱まるという特徴（距離減衰）を持つ。従って、直下型地震は、地震自体の規模（マグニチュード）は比較的小さくとも、距離による減衰が少ないため、その直上の人や建物に多大な被害を与える可能性がある。

わが国では、地表踏査を中心とする研究により、数多くの活断層があることが知られているが、それでもなお、地表での地質調査だけでは把握が困難な伏在断層など、知られていない断層が数多くあると考えられている。ここで注意しておかなければならないのは、前述のとおり、地震被害は地震自体の規模とは必ずしも関係ないため、比較的小規模な活断層を震源とした地震でも被害地震になり得るという点である。また、規模の小さな断層は見つけるのが困難であり、見過ごされている断層が多数あることは想像に難くない。

建造物の防災を考えた時、さまざまな調査により、その建造物が将来遭遇するであろう、地震の規模を予測する必要がある。特に、重要な建造物の近傍に置いては、比較的小規模な断層の有無までも調査しておくことが、必要不可欠である。例えば、原子力発電所が重大な事故に見舞われると、その被害は全世界的なものとなる事も考えられる。そのような重大事故にまでつながらなくとも、日本の電力エネルギー供給の 3 割を占め、電力安定供給の根幹を担う原子力発電所が停止するだけでも、国民生活に与える影響は甚大である。そのように、重要構造物の地震被害による損失は莫大なものとなるため、調査費用は多少

[1] 横田　俊之（よこた　としゆき）　産業技術総合研究所　地圏資源環境研究部門、京都大学博士（工学）
© もったいない学会

かかっても、いかに精度よく活断層を抽出するかが重要になっている。

そのような目的で、最も有効な手法として、反射法地震探査を上げることができる。反射法地震探査は、石油探査の分野で発展してきた技術で、地表で発震された地震波が地層境界で反射して地表に戻ってくる反射波を用いて、地下を可視化する技術である。この技術は非常に優秀な手法であり、地下を直感的に理解しやすく可視化することが可能である。その一方、地下は基本的に水平成層（一次元）構造をしているという仮定の下で発展してきた技術であるため、地下が断層、岩塩ドーム、旧河道などのように三次元的な構造になると、前提条件を満たさなくなり、従来技術である二次元地震探査により得られた結果は真の地下構造を表現しない。ところが、地下構造が仮定通り一次元的であろうが、三次元的であろうが、データ取得、解析はできてしまうのである。そのため、地下構造が三次元である場合には、二次元地震探査による調査結果から地下解釈を行うと地下を誤って理解することにつながる。従って、二次元地震探査結果を解釈するに当たっては、十分な注意が必要であり、解釈者の高度な専門性と十分な経験が要求される。一方、三次元地震探査データを用いる場合には、その危険性が大幅に減少するため、正確な地下解釈が可能となる。

本稿では、Biondi(2007)に掲載された図面を用いて、まず、二次元および三次元地震探査の相違点について簡単に説明する。続いて、三次元の地質構造調査に、二次元地震探査を用いた場合の、誤った地下構造解釈の一例を示す。以上により、三次元地震探査の必要性をより多くの読者に理解いただくことを主たる目的とする。

２．二次元地震探査と三次元地震探査の違い

二次元地震探査と三次元地震探査の主たる相違として、

1. データ自体の持つ情報量の違い
2. データ処理の正確さの違い
3. 処理結果の解釈の容易さの違い

等をあげる事ができる。それぞれについて、以下に簡単に説明する。

２.１ データ自体が持つ情報量の違い

地下の情報を知ろうとした場合、知りたい領域内のある測線で二次元探査を行ったとしても、情報が得られるのはその領域のごく一部に限られ、領域内の残り多くの部分に関する情報は得られない。その様子を図 1 および図 2 に示す。それぞれの図とも、直方体全体が知りたい領域で、それぞれの辺が X 方向の距離、Y 方向の距離、Z 方向の距離を表す。図 1 に二次元探査で得られた地下の情報を示す。

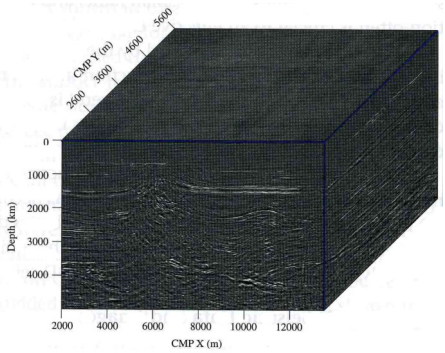

図 1　二次元探査で得られる情報（Biondi(2007)より引用）。周囲の面上にしか情報が無く，直方体内部には情報が無い。

図 1 からわかる通り、仮に複数の二次元探査を行ったとしても、知りたい領域の直方体の周囲の面上の情報しかえられないことがわかる。図 2 に三次元探査結果を同様に表示する。図 2 の表示では、青い破線での断面を、

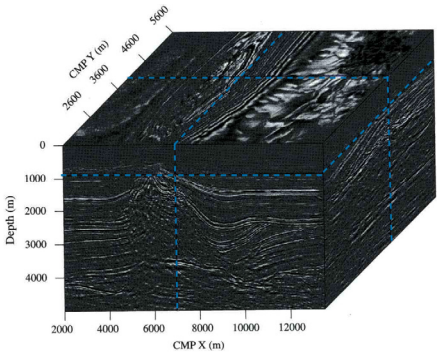

図 2 三次元探査で得られる情報（Biondi(2007)に一部加筆）。直方体内部全てに情報があり，任意の断面上の情報を容易に取り出すことが可能である。

各面上に表示している。

図 2 より明らかなように、三次元探査を行う事により、調査領域内全ての場所の情報を得る事ができるため、任意の位置の情報を容易に取り出すことが可能である。

２.２ データ処理の正確さの違い

地震探査を行う場合、震源から出た波はあらゆる方向に三次元的に伝わり、様々な方向に存在する反射点で反射され、受振点へと戻ってくる。しかしながら、二次元地震探査を行った場合、地震波は二次元測線直下に伝わり、反射してくるものと考えて、データ処理を行う。従って、岩塩ドームや断層など、三次元的地下構造が存在すると、データ処理に狂いが生じ、処理結果は真の地下構造を正確に表現しなくなる。その様子を図 3 に模式的

に示す。

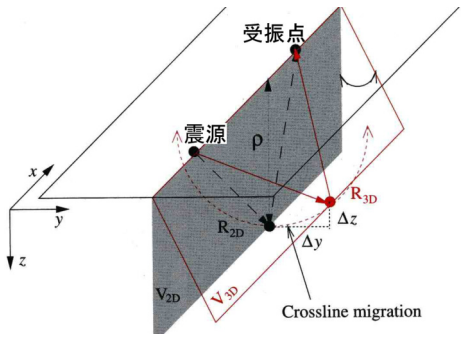

図 3　三次元探査と二次元探査の違いを示す模式図 Biondi(2007)に一部加筆)。二次元探査の場合、地震波は測線直下のみを移動すると考えるため、地下構造解釈を誤る危険性がある。三次元探査では、地下構造を正確に把握する事が可能である。

震源 S から出た波が R3D で反射して受振点 G で観測される場合を考える。探査およびデータ処理を二次元で実施した場合には、測線直下（灰色で示す面内）から反射波が戻ってくると考える。従って、震源・受振点を焦点とする楕円上で反射点を求める操作（二次元マイグレーション処理）により、R_{2D} を反射点であると認識してしまうこととなる。一方、探査およびデータ処理を三次元で行う場合（三次元地震探査）には、あらゆる方向から反射波が戻ってくることを想定している。そのため、震源・受振点を焦点とする回転楕円体上で反射点を求める操作（三次元マイグレーション処理）により、正しい反射点 R_{3D} をみつけることができる。

図 4 および図 5 にある岩塩ドーム周辺で取得された三次元探査結果に三次元データ処理を施したものと、二次元データ処理を施したものを比較して示す。図 4 に示したものは、データ処理結果を深度 3.63km という面でス

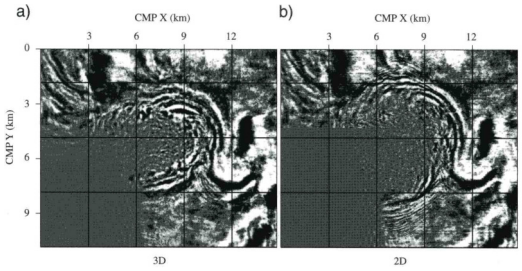

図 4　岩塩ドーム周辺の探査結果の深度スライス (Biondi(2007)より引用)。(a) 三次元探査結果に三次元データ処理を施したもの。(b) 二次元探査結果に二次元データ処理を施したもの。

ライスした断面である。

図 4 からわかる通り、中央部に見られる円形の岩塩ドームの形状が大きく異なってイメージングされるのがわかる。これは、岩塩ドームが三次元形状を持つからであり、二次元探査結果からは、その形状を誤る危険性が大

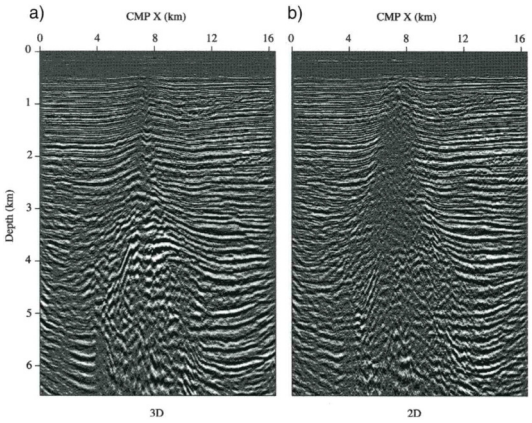

図 5　岩塩ドーム周辺の探査結果の断面 (Biondi(2007)より引用)。(a) 三次元探査結果に三次元データ処理を施したもの。(b) 二次元探査結果に二次元データ処理を施したもの。

きい。同じデータから、Y=3.25km という測線に沿った断面を切り出したものが図 5 である。

図 5(a)からわかるように、もし、この測線での二次元探査のみしか持っていない場合には、その測線直下に岩塩ドームがあるかのように判断を誤る危険性がある。一方、図 5(b)からわかる通り、三次元探査を行っていれば、Y=3.25km という線の直下には岩塩ドームは存在しないと正確に判断する事ができる。

２．３　処理結果の解釈の容易さの違い

三次元探査結果は、領域全体にデータを持っているため、まばらに存在する二次元結果間を解釈者が推定するという最大の不確実性を排除する事ができる。この種の推定は、ある地層が空間方向に連続する事を前提としているため、断層の存在などを検知する事が困難である。特に、旧河川底に堆積した砂層の連続性などは、二次元探査結果からのみ追跡する事はほとんど不可能である。その様子を図 6 に示す。

図 6(a)は探査結果を時間スライス（t = 1.386 秒）として表示したものである。この場合領域右下部分に旧河川底に堆積した砂層が強い反射強度を持った線（黒色の曲線）として認識可能である。一方、同一地点で実施された二次元探査結果を図 6(b)に示す。図中(a)に示した時間スライスの位置を青色破線で示したが、この断面内ではその位置の把握すら困難であることが理解できる。仮に、その位置を二次元断面内で同定可能であっても、その連

続性を知る事はさらに困難である。

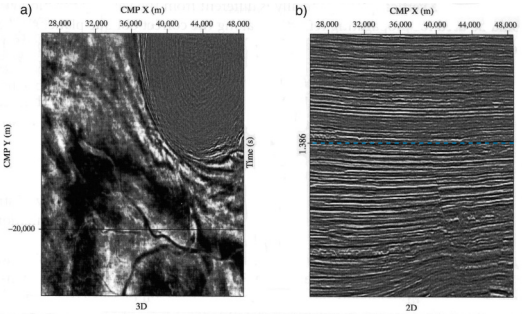

図 6　旧河川底に堆積した砂層周辺の探査結果（Biondi(2007)に一部加筆）。(a) 三次元探査結果を時間スライスで表示したもの。右下部分に旧河川底に堆積した砂層の走行が見られる (b) 二次元探査結果断面。

3　おわりに

本稿では、地下構造探査で良く用いられる、反射法地震探査法のうち、二次元探査と三次元探査の違いについて解説した。反射法地震探査は、地下構造を可視化する優れた手法であるが、二次元探査を用いた場合には、三次元的地下構造解釈を誤る危険性があり、解釈結果を用いるにあたっては、その適用限界を理解したうえで、十分に注意する必要がある。

一方、三次元地震探査は、1. 豊富な情報量、2. 正確なデータ処理結果、3. 処理結果解釈の容易さ等の特長により、地下構造を正確に、理解しやすく可視化する技術であり、二次元地震探査に比較しても、さらに優れた技術であると結論する事ができる。

活断層調査に地震探査を用いる場合には、二次元探査では十分に把握できない断層でも、三次元探査では正確にとらえられる場合が多いであろう。また、陸域、海域にまたがった探査を行う事により、陸域・海域に存在する断層を抽出可能であると結論することができる。

今後の活断層調査に最先端物理探査技術である三次元探査を実施することは、今後の災害の防止に対して現在の我々が実行可能で最も有効な作業であると考える。

謝辞

本稿に使用した図面は、全て、米国物理探査学会（SEG = Society of Exploration Geophysicists）出版の Distinguished Instructor Series, No.10 から転載した。図面の転載を快く許可していただいた、同学会には心より感謝するしだいである。

参考文献

Biondi, B. L. (2007): Concepts and applications in 3D seismic imaging, Distinguished Instructor Series, No.10, SEG, 243p.