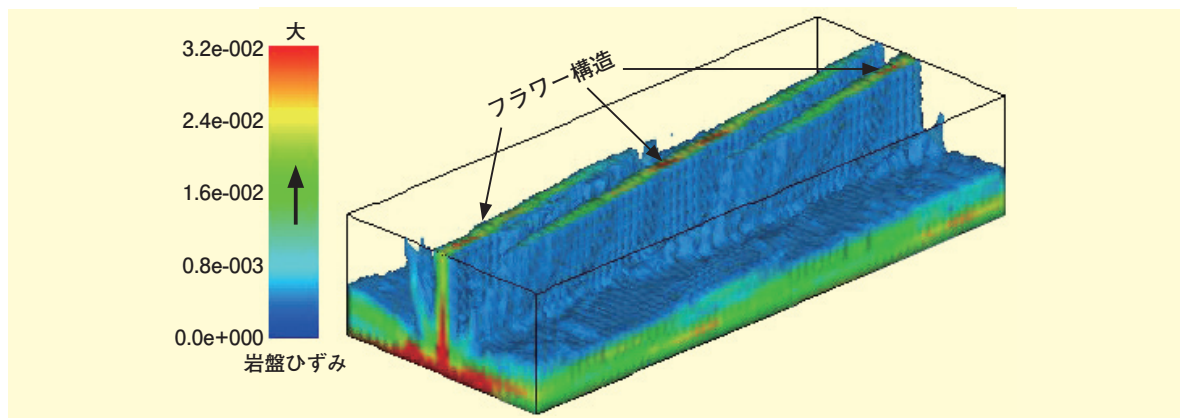


反射法地震探査による深度断面の地質解釈図



地下深部の横ずれ断層から地表へ広がっていく断層群 (フラワー構造) の3次元数値解析結果

地震の大きさを推定する

——高精度な活断層調査に基づく評価手法の提案——

- 地震規模を評価する手法を提案
- 震源断層を評価する
- 評価の客観性を示す

● ひとつこと 地球工学研究所 地圏科学領域 上席研究員 上田 圭一

地震規模を評価する手法を提案

2006年9月に、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（原子力安全委員会）が改訂され、原子力施設の耐震安全性を一層高めるために、①従来5万年前から現在までの期間の断層活動性の評価を、12万年～13万年前から現在までの期間で評価する、②地形発達史に照らした変動地形学により評価する、③震源断層モデルに基づいて地震動を評価するなどの内容が盛り込まれました。電力各社では、新しい指針に基づいて原子力施設の耐震安全性評価を行っており、設計で考慮する地震動の見なおしや具体的な耐震補強の実施など、安全性確保への対応が進められています。

当所では、地震の規模を決定する活断層を適正に評価することが重要であると考え、最新の探査技術を導入した調査手法に基づく地震規模の評価手法を提案しました。

■震源断層のモデルを構築する方法の提案

提案した地震規模を評価する手法は、これまで行っていた空中写真の判読、地表踏査、ボーリング調査、トレンチ調査^{注1}、浅層物理探査などに、航空レーザー測量、既往の震源データに基づく微小地震群の抽出調査、詳細な微小地震観測、深部地下構造探査などの調査と、震源断層と地殻変動・変動地形^{注2}との関係を客観的に検証するための模型実験・数値解析を加え、震源断層モデルを構築するために必要な精度の高い情報を提供できるものです。

地表から地下深部に及ぶ3次元的な各種データ（地形・地質構造・地球物理学的データ^{注3}）を取得することで、震源断層モデルの各種パラメータ（断層型、断層の長さ・幅・傾斜角・変位量など）を精度良く設定することができます。また、模擬地盤実験や数値解析による検討の結果は、活断層調査で得られたデータに基づいて構築する震源断層モデルの妥当性を裏付けるものとなります。

上述の評価手法の内、航空レーザー測量データの解析手法と、模擬地盤実験・数値解析手法は、当研究所が独自に開発しました。

注1：活断層の通過地点やその活動があったと予測できる地点に掘った、深さ約数メートル程度の溝（トレンチ）の壁面にみられる地層の綿密な観察

注2：断層の変位や褶曲などによって形成された地形

注3：例えば、地震波速度、重力、地磁気など

■活断層調査による震源断層評価フロー

当研究所は、活断層評価に関する最新の研究成果に基づき、航空レーザー測量などの最新の探査技術を導入した体系的な震源断層評価フローを提案しました（図1）。

航空レーザー測量の導入により、従来、樹木に覆われて空中写真では判読できなかった地表面の小規模な段差を把握でき、詳細かつ定量的に変動地形を評価できるようになりました。また、震源断層モデルに関する各種パラメータを変化させた模擬地盤実験や数値解析の結果を考慮することにより、最適なモデルを構築することができると考えています。

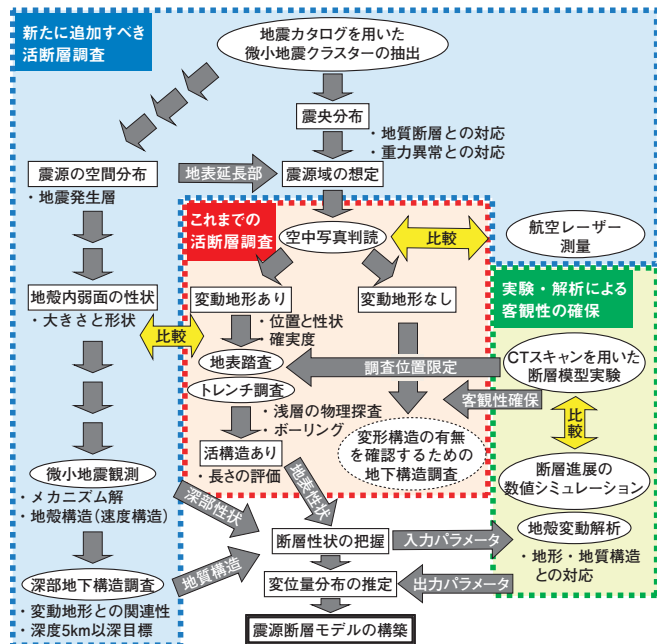


図1 活断層調査に基づく地震規模評価フロー

震源断層を評価する

■明瞭な活断層が見いだされない地域の場合

地震の規模は、断層の長さに比例する事が経験的に知られています。したがって、地震規模を評価する上では、活断層の長さを精度よく評価することが重要です。しかし近年、マグニチュード (M) 7.0 前後の地震でも、震源域に明瞭な活断層が認められない事例が増えており、従来の知見では事前の地震規模評価が難しい状況が生じています。そのような震源域で、断層運動の痕跡がどのように捉えられるかを、いろいろな手法を用いて検討しました。

余震域において航空レーザー測量を行い、標高データから起伏量の分布を調べました。その結果、起伏量は、山腹斜面の変動地形学的な特徴を見いだすための有効な指標となることが分かりました (図2点線内)。また、この地域を横断する反射法地震探査を行い、地表下約 500 m までの地下構造を図化した結果、変形が集中する領域を判定することができました (表紙)。

これらの手法の組み合わせにより、震源断層の所在を事前にほぼ把握できると考えています。

■短い活断層の場合

短い断層が、地表地震断層に対応して震源断層評価の対象となるのか、震源断層に直接連続しない副次的な断層と判定するのは、地震規模を評価する上で重要な事項です。また、副次的な断層であるとしても、震源断層の位置や規模を推定する重要な要素となっています。

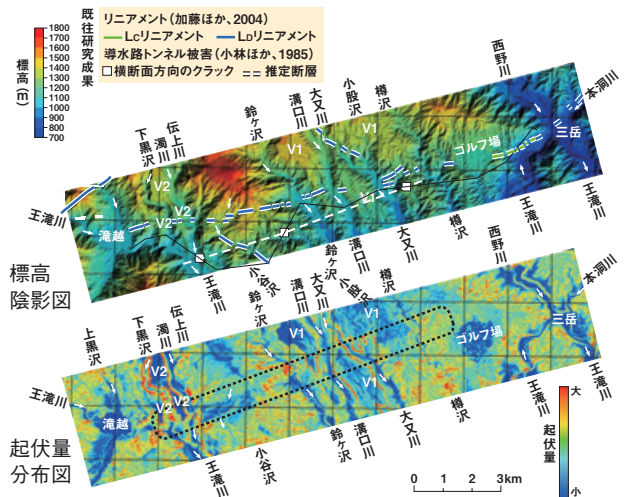
ここでは、プレート境界における大規模地震時に出現する副次的な断層に着目し、関東と四国の2つの断層を対象として詳細な空中写真判読や現地調査を実施しました。調査結果から、短い活断層の特徴を明らかにしました。その特徴は、①活断層の長さの割には断層活動1回当たりの変位量が大きい (図3)、②活動間隔がプレート境界地震よりも長い、③変位が累積性を有する等です。

以上を踏まえると、短い活断層の調査・評価の手順は次のようになります。

- ①空中写真判読や詳細な地表踏査により地質構造を把握し、活構造^{注4}以外の成因を検討する。
- ②段丘の形成年代の決定と併せて断層の活動性が推定される場合には、トレンチ調査などの詳細調査により断層破碎帯^{注5}の性状、1回の変位量、最新活動、活動間隔を評価する。
- ③上述の短い活断層の特徴との類似性が認められる場合、プレート境界における大規模地震時に出現する上側の副次的な断層と判定する。

注4：活断層や活褶曲などの、比較的新しい時代に活動したと見られる地質構造

注5：断層周辺の地層や岩石が破碎され、角礫化・粘土化した部分



長野県西部地震の余震分布の上起伏量の急変部 (点線内) を検出

図2 航空レーザー測量による地形の特徴抽出

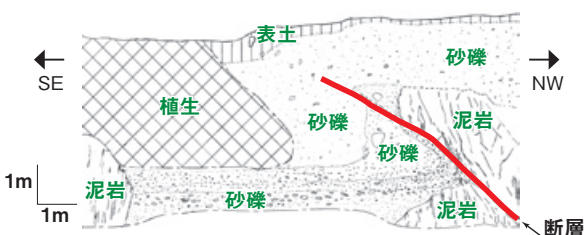


図3 室戸岬周辺に分布する短い活断層の断層露頭

評価の客観性を示す

■岩盤の変形過程を X 線 CT で解析

重要構造物の立地・設計に際しては、活断層の動きに伴う周辺地盤の変形の範囲や程度を予測する必要があります。また、地表付近の断層の形態や変動地形の特徴から地下深部の震源断層モデルを適切に評価することが求められます。これらの評価手法を確立するためには、震源断層のずれに伴って断層が地表に向かって進展する状況を解明する必要があります。そこで、横ずれ断層を対象に、模擬地盤を用いて断層をずらす実験を行い、X 線 CT スキャナーにより断層の進展過程を解明しました (図 4)。

さらに、いろいろな地盤の条件に対応する実験を行いました。その結果から、断層の進展に与える地盤の影響を把握することができ、断層のずれに伴う岩盤の変形を評価する上で注意すべき事項を明らかにできました。

■総合評価のための数値解析手法の開発

調査地域の変動地形や地質構造などから震源断層モデルを適切に評価するために、地質学的手法に加えて、模型実験や数値解析による総合評価が必要になります。模型実験に関しては、X 線 CT スキャナーを利用して岩盤の 3 次元的な亀裂進展を解析できる方法を確立しました。数値解析については、既存の地盤モデルの力学特性にばらつきを考慮することで、破壊の分岐・局所化を表現しました。このモデルを用いた汎用の有限要素解析コードにより、断層の横ずれにより地表に現れる地盤の変形・破壊を追跡できることが分かりました。

●ひとこと



地球工学研究所
地圏科学領域
上席研究員
上田 圭一

地震を引き起こす可能性のある地下深部の震源断層を精度良く評価するためには、震源断層のずれ量の累積により形成される変動地形や地質構造を、各種調査技術を適用して総合的に解析することが重要です。今回、最新の研究成果に基づき、当所独自に開発した手法を含めた体系的な震源断層評価フローを提案しました。今後は、地震の大きさの推定に大きく影響する、活断層の連動性を評価する手法の高精度化を目指した研究などに取り組む予定です。

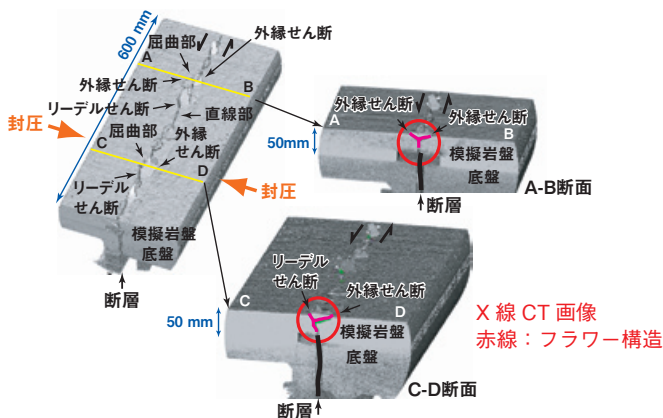


図 4 横ずれに伴う模擬岩盤内の断層の形態 (フラワー構造)

関連 報告書

- 「明瞭な活断層が見いだされない地域での震源断層評価」 電力中央研究所報告 : N08038
- 「プレート沈み込み境界上盤側に分布する短い活断層の特徴と成因」 電力中央研究所報告 : N08035
- 「横ずれ断層の変位に伴う岩盤の 3 次元変形過程」 電力中央研究所報告 : N08039
- 「横ずれ断層の進展に伴う地盤の破壊領域評価のための数値シミュレーション」 電力中央研究所報告 : N08028