

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 4 月 26 日現在

機関番号：15401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010 ～ 2011

課題番号：22650221

研究課題名（和文） 地下レーダーによる伏在活断層の位置認定手法の開発

研究課題名（英文） Detecting subsurface active faults by Ground Penetrating Radar

研究代表者

中田 高 (NAKATA TAKASHI)

広島大学・大学院文学研究科・名誉教授

研究者番号：60089779

研究成果の概要（和文）：

活断層の詳細な位置を変動地形学的に認定することが困難な沖積低地や断層の末端部において、地中レーダーを用いて地下構造をもとにその位置を確認する手法を開発することを目的とした。この結果、活断層の通過位置が明らかな場所においては、記録パターンの乱れなどから地層の擾乱が認められる例が多かったが、それをもとに断層変位構造を特定することは困難であった。したがって、活断層の存在が明確ではない地域において、伏在する活断層の位置と構造を正確に予測することは困難といえる。地層の堆積状況の把握にはある程度乾燥した未固結の細粒堆積物であることが重要であり、日本のような湿潤で地下水位の浅い地域では、地中レーダーを活断層調査の有効な手法とするには極めて厳しい制約があることが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：

In order to detect subsurface location of active faults in alluvial lowland where geomorphic interpretation of tectonic features are difficult, we tried to find effective research method by using Ground Penetration Radar system. We could assume subsurface fault from disturbed pattern in the records across active faults ever known. However, it is very difficult to detect location and detailed structure of subsurface active fault correctly if we do not have any information about location of active fault. In the humid zone like Japan, shallow water table frequently disturbed penetration electromagnetic waves into soft sediments, and as a result, GPR may not be a effective tool for searching subsurface active faults except in very rare dry condition such as beach ridges and sand dune.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,100,000	0	1,100,000
2011 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,900,000	540,000	3,440,000

研究分野：地形学

科研費の分科・細目：地理学・地理学

キーワード：活断層 地中レーダー 地下探査 伏在断層

1. 研究開始当初の背景

すべての活断層が明瞭な低断層崖などの

確実な地形学的な証拠をとまなっているわけではない。そのため、活断層ではその位置や形状が明確でない場合が少なくない。さらに、活断層が沖積低地など若い堆積層からなる場所を通過する場所や断層の両端部では、断層変位が不明瞭となり、研究者の間でも活断層の存否や通過位置について異論がでることもある。このような問題を解決するためには、トレンチ調査などの掘削調査によって断層を確認することも不可能ではないが、断層位置が不確かな場所では長大なトレンチを掘削する必要がある、その解明には多くの困難をとまなう。

このような地下に伏在する活断層を探查するために、地表から発射した電磁波が地中の物体に到達し反射する往復時間から物体の位置を推定する地下レーダーを活用する方法がある。1990年代以降日本に導入され、神戸市街の活断層調査に利用された例（例えば宮田，1999）があるが、未知の活断層を闇雲に探查し明確な基準もなく断層を認定しているため、調査結果の信頼性は低く、トレンチ調査などで活断層が確認されていない。申請者らも、地下レーダーの活断層調査への利用には懐疑的であった。そこで、本研究では系統的な試行調査を積み重ねることによって反射断面から活断層を認定する基準を見出し、地下レーダーによる活断層調査法を確立することを思い立った。

2. 研究の目的

本研究は、活断層の詳細な位置を変動地形学的に認定することが困難な沖積低地や断層の末端部において、地下レーダーを用いてその位置を確認する手法を開発することを目的としている。すなわち、断層変位を受けた地層・岩石相の違いや、活断層の変位様式、活動度、変位量の異なる標本地域において、周波数の異なる電磁波を発生させる数種類のアンテナを用いて系統的な探查を行い、その特徴をもとに活断層位置認定手法を開発する。また、レーダー記録に活断層の可能性を示す兆候が認められる場合は、積極的に活断層の存否を確認するためのトレンチ掘削調査を行い、レーダー記録から活断層を認定する技術を向上させ、認定手法の確立を目指す。

地下レーダー調査法は日本でも研究事例があり、先駆的とは言えない。しかし、地下レーダーを利用した活断層の調査は手法的に確立されたものではなく、活断層研究者が常用するものとなっていない。多様な条件下で系統的な試行調査を行い、事例を積み重ねることによって、その手法を確立しようとする点に斬新性がある。本研究では、活断層を熟知した研究者が、自ら地下レーダーを操作してその調査手法を確立しようとするチャ

レンジ性もあり、装置の購入や開発を目的とした研究ではない。また、地下レーダー画像の解析には、リモートセンシング技術に長けた専門家による新たな視点からの解析が期待された。

3. 研究の方法

本研究では、既知の活断層についてもその位置を特定するための地形判読について、新たな手法としてデジタル化したステレオペア画像を用いて、ディスプレイ上で空中写真の立体視画像を自由に拡大・縮小しながら任意の地点を詳細に地形判読する手法を導入した。また、平野部に発達する若い微細な断層変位地形を把握するために、国土地理院の5mDENをもとに立体視画像を作成し、過立体視などによって、起伏を誇張することによって断層変位地形の把握と位置の特定を行い、地中レーダー測線の設定に役立てた。

調査には、アメリカ Geophysical Survey Systems, Inc. の SIR2 コントローラと中心周波数が 400MHz (model 5103)・200MHz (Model 5206) および 70MHz (Model 769D2) の三種類のアンテナを用いて野外調査を実施した。このシステムは送受信アンテナが完全に一体型となっており、大型のものでも空中のノイズなどを拾わないシールドタイプであり、探查効率の高い特徴がある。また、データ処理には GSSI 社が開発したソフト RADAN を使用した。

さらに、調査を効率的に行うために、固定式の探查装置を、大きさや重量の異なる機材（本体及びアンテナ）と一括して運搬するための複数の移動装置を作成した。これによって、アンテナにケーブルの長さによって、最長 50m に規制されていた調査測線長を無限に拡大することが可能となり、探查効率を大幅に改善することができた。

本研究では、断層変位様式や活動度の異なる活断層を対象にして、先行研究によって活断層位置が明なになっている場所を中心に、地中レーダー調査を実施した。

4. 研究成果

本研究の成果として、まず活断層探查に適切な分解能と深度に対応したアンテナの選択について述べる。

周波数が高い電磁波は地中においても反射物体を識別する分解能は高いが、透過するエネルギーが弱いため地中深くまでは到達しない。これに対して周波数に低い電磁波は分解能は劣るが深くまで到達する特徴がある。このため、中心周波数の異なるアンテナを用いて、活断層調査に最も適している周波数をテストによって選定した。また、深さ方向のレンジ切り替えや探查速度なども合わせてチェックし、野外での効率的な探查条件を探った

具体的には、波長が400MHz, 200MHz, 70MHzの三種類のアンテナの本調査への適性を検討するために、広島県廿日市市四季が丘団地の公園における切土/盛土境界を対象にチェックした検討した。その結果、400KHzアンテナでは、shallow rangeの記録でも、地表付近でも反射物体によるパターンを認識することが困難であった。一方、70MHzアンテナでは、shallow rangesでも画像的には深さ15m程度までのパターンが示されるが、物体を認識できるのは深さ6mm程度であり、分解能が低下している。これに対して200MHzアンテナでは、shallow range, deep rangeとも深さ3.5m位まで相対的に高い分解能で物体を認識することが可能である。このため、モニター上でより大きな画像が描かれるshallow rangeがより適切な設定であるといえる。

このように、分解能と探査震度を考慮すれば、200MHzアンテナのshallow rangeが地層の堆積構造を把握するのに適していることが明らかになった。

また、アンテナ移動速度は、秒速1m程度の歩行速度が適切であった。距離の測定には、長尺のメジャーテープを測線に沿って設置して、適切な距離ごとにマーカーでそれらの位置を記録する方法が推奨された。

一方、地中レーダーによって得られたデータの高い再現性を確認することができた。

地下構造とレーダー画像を比較検討することによって、地下レーダー画像から伏在活断層を認定する基本的な手法を検討するために調査法の改良と試験的調査を中心に、日本の横ずれ活断層の典型である四国中央構造線活断層系の徳島県吉野川北岸地域およびの和歌山県紀ノ川北岸地域において既知の断層線を対象に現地調査を実施した。

(1) 活動度の高い横ずれ断層

・紀伊半島中央構造線系根来断層

この活断層の西部の和歌山市木ノ本地区では、新たな地形判読によって沖積平野を東西に横切る低い断層崖が認定された(後藤, 私信)。この地形が、断層変位によって形成された可能性があるかどうかを判断するために、崖に直交する南北方向の測線において、200MHzアンテナを用いた計測を行った。この結果、断層線の推定場所において、水平に堆積する厚さ約1.5mの若い堆積層の下位に南に撓み下がる地層が深さ約3.5mまで発達することが明らかとなった。この結果、これまで山際に沿って位置不確かとされてきた活断層の位置は東の根来断層を直線的に延長した位置に伸びていることが明らかとなった。

・四国中央構造線活断層系板野断層における計測

徳島県板野郡上板町神宅神宮寺周辺では、後藤・中田(2000)によって、活断層位置が推定されている休耕地において200MHzアンテナを用いて計測を行った。この結果、地表下約2.5mまでの地層が認識され、活断層推定位置に幅約3mで高角度の地層の乱れが認められ、これが活断層変位によるフラワーストラクチャーにあたる可能性が高いが、トレンチ掘削によって認められる変位構造に比較して不鮮明である。

・四国中央構造線活断層系岡村断層における計測

愛媛県新居浜市萩生き岸の下において、岡村断層がトレンチ掘削調査によって確認されている。この断層に隣接する水田の休耕時期に200MHzアンテナを用いて探査を行った。この結果記録に攪乱パターンが認められたが、活断層の位置や地下形状を認識していない状態で、これを断層変位に起因すると判断することは困難であった。

(2) 活動度の低い横ずれ断層

・松江市森山の鹿島断層

鹿島断層の西部、松江市森山では境水道に北から流入する河川が西(かつての上流側)に向かって系統的に左屈曲をしており、屈曲部に推定活断層が通過している可能性がある。この断層通過推定位置を横切る測線において、200MHzアンテナを用いて探査を行った。しかしながら、画像には地層の変形をうかがわせる乱れは認められなかった。この地点で実施したトレンチ掘削調査でも、深さ3mまでの若い地層に変形は認められなかった。また、地下水面が浅く、地中レーダー探査にとっては悪条件であったことが判明した。

(3) 逆断層

・福井県三方上中郡若狭町能登野の三方断層

三方断層は長さ26kmの南北走向の西落ち逆断層である。この活断層の最新活動時期、1662年の寛文地震であるとされている。地中レーダー計測は、この断層が東の山地から流下する谷によって形成された扇状地を横切り、撓曲崖を形成している場所である。記録には活断層の通過位置に深さ12mまでの下位の扇状地堆積物が撓み、傾斜不整合で若い地層に覆われていることがうかがえる。扇状地は相対的に乾燥しており、堆積物が低地よりも粗粒な堆積物よりなるが、堆積物の変形を認めることができた。しかしながら、変形は広範囲にあたっており、トレンチ掘削地点の選定などに活用できるほどの詳細さはない。

(4) 砂質海岸

・徳島県鳴門市大手海岸

砂浜海岸の陸地寄りの部分は適度に乾燥しており、粒度の異なる砂層がクロスベディングして堆積する様子が、200MHzアンテナによって鮮明に把握された。したがって、このような条件の地層を活断層が変位させて

いるような場所があれば、断層変位構造を地中レーダーによって把握することができる可能性があると考えられる。

地下レーダーでは、どこでも鮮明な地下構造記録を得ることができないことが明白になった。特に、断層変位を受けた地層や調査地域の水分条件が重要であり、活断層が位置することが確実な場所でも、調査断面記録からは活断層を認定することは困難であった。調査適地を慎重に選定することが不可欠であることが分かった。徳島平野低地部の地下水位が高い沖積層の断面記録では活断層は認定できなかったが、相対的に乾燥した段丘堆積物の断面記録では、断層位置を示す記録が得られた。一方、砂浜や内陸部の離水浜堤では、砂層の堆積構造が明瞭に記録され、このような場所での伏在活断層の位置の認定には有効である。

本研究では、当初期待したほどの成果を十分に挙げるができなかった。その主たる理由は、日本の沖積平野の地下水位の浅く、湿潤であり、伝導率が高いためか地中レーダーの電磁波が地中に十分に透過しないために、電気的性質の変化する部分から反射する電磁波を捉え地層の変化を捉えることが困難であったことによると考えられる。

この手法の有効性を確認するためには、この手法を地下水位の低い地域、とりわけ海外の乾燥、半乾燥地域の活断層の調査に適用する必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

後藤秀昭・中田 高, デジタル化ステレオペア画像を用いたディスプレイでの地形判読, 活断層研究, 34, (査読有), 2011, 31-36

[学会発表] (計1件)

後藤秀昭・立道智大・杉戸信彦, DEM のステレオ画像から判読される平野の微小な変位地形, 日本地理学会 2011 年秋季学術大会, 2011 年 10 月 24 日, 大分大学

[図書] (計 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：

番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計◇件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中田 高 (NAKATA TAKASHI)
広島大学・大学院文学研究科・名誉教授
研究者番号：60089779

(2) 研究分担者

大倉 博 (OHKURA HIROSHI)
広島工業大学・環境学部・教授
研究者番号：20414394

(3) 連携研究者

後藤 秀昭 (GOTO HIDEAKI)
広島大学・文学研究科・准教授
研究者番号：40323183