

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：82110

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350481

研究課題名(和文)肉眼観察で確認困難な断層変位基準の定量的把握手法の構築

研究課題名(英文) Study on construction of the technique to understand indistinct fault displacement index quantitatively

研究代表者

安江 健一 (YASUE, Ken-ichi)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター・研究副主幹

研究者番号：10446461

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、活断層露頭において、肉眼観察では確認が困難な堆積物中の断層変位基準を定量的に把握する体系的手法の構築を目的とした。主に断層周辺の黒色土において、帯磁率・帯磁率異方性・古地磁気・含水率・強熱減量・C-14年代の測定、火山灰の分析が有効であることを確認した。これらの手法を効率的に適用するために、それぞれの手法の特徴を踏まえて、体系的な作業の流れを検討した。まず露頭において帯磁率を測定し、その後試料を採取する。採取した試料は、古地磁気・帯磁率異方性・含水率・強熱減量を順に測定し、火山灰を分析する流れが効率的である。合わせてC-14年代測定が効果的である。

研究成果の概要(英文)：We carried out a research about construction of the systematic technique to understand indistinct fault displacement index of sediment quantitatively in an active fault outcrop. In black soil around the active fault, we confirmed that the measurement of magnetic susceptibility, anisotropy of magnetic susceptibility, paleomagnetism, water content and ignition loss, and analysis of volcanic ashes were effective. Based on a characteristic of each technique, we showed a systematic workflow to apply these techniques effectively. At first we sample the soil after having measured the magnetic susceptibility in an outcrop. Using the sample, we measure paleomagnetism, anisotropy of magnetic susceptibility, water content and ignition loss sequentially, and a workflow to analyze volcanic ashes and minerals into is effective. It is effective to add the carbon-14 dating.

研究分野：地震地質学

キーワード：活断層 火山灰 炭素14年代 帯磁率異方性 含水率 強熱減量 古地磁気

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 活断層が引き起こす地震の規模の評価には、断層の1回変位量を把握する必要がある。しかし、活動性が低い断層は、地形的検知限界から変位地形を用いた評価が困難となり、堆積物中の変位の把握が重要となる。また、原子力施設の耐震安全性評価では、活断層の有無の評価が必要不可欠であり、堆積物の年代と断層変位の有無を把握することが要求される。地震規模、活断層の有無や活動性の評価においては、上載地層法が確実な方法であるが、層相の変化に乏しい堆積物の場合は、肉眼観察だけで断層変位を認定することは困難である。

(2) このような堆積物において、宍倉ほか(2002)は、数十 cm~1m 程の間隔で採取した約 20 試料の C-14 年代値を用いて推定した等時間面から、肉眼観察では確認が困難な断層変位を明らかにした。しかし、得られた結果が C-14 年代の誤差によるものか堆積物の乱れによるものかの判断が困難であった。

(3) これまでに我々は、活断層周辺の黒色土において数 cm~数十 cm 間隔で C-14 年代測定が有効である例を示した(廣内ほか, 2012)。また、これまでに我々が実施した活断層トレンチ掘削調査では、壁面からの地中レーダ探査(安江ほか, 2005)、堆積物の粒度と強熱減量の分析(安江ほか, 2009)を行い、これらの手法が断層変位基準の把握に有効である見通しを得た。

(4) 東北地方太平洋沖地震によってこれまで以上に活断層に係る研究課題が明確になっている現状、このような堆積物中に残存する指標を用いて断層変位基準を高い確度で認定できる手法の開発は、地震防災や耐震安全性評価において急務である。

### 2. 研究の目的

(1) 活断層が引き起こす地震の規模の評価には、断層の1回変位量を高い確度と精度で把握する必要がある。また、原子力施設の耐震安全性評価では、活断層の有無や活動性の評価が必要不可欠である。しかし、層相の変化に乏しい堆積物の場合、露頭から堆積物中の断層変位の有無を肉眼観察で判断することが難しい場合が多く、変位量の把握や活動性の評価が困難である。そのため、堆積物中から不明瞭な断層変位基準を見つけ出すことは重要な課題である。

(2) このことから、本研究では、上述した手法をはじめ、堆積物を対象とした各種測定・分析を組み合わせることで、活断層露頭において肉眼観察では確認が困難な断層変位基準を定量的に把握する体系的な手法を構築する。

### 3. 研究の方法

(1) 本研究は手法開発に関する研究であることから、既に活断層の活動履歴などが明らかになっている活断層をモデルとして実施することが望ましい。そのため、本研究では、既往研究において活動履歴に関する多くのデータが得られている阿寺断層を事例に、活断層露頭の堆積物を対象とした。阿寺断層は、岐阜県東部を北西~南東方向に長さ約 70km に渡って連続する活断層である。

(2) 対象とした活断層露頭は、2箇所である。1箇所目は、岐阜県中津川市加子母上桑原地区であり、主に過去に実施されたトレンチ掘削調査(廣内・安江, 2007)の試料とデータを用いる(この箇所を以下「露頭 A」という)。2箇所目は、同県同市加子母二渡地区であり、廣内ほか(2014)が実施した活断層トレンチ掘削調査で確認された露頭である(この露頭を以下「露頭 B」という)。

(3) 露頭 A と露頭 B で得られる試料やデータから各種手法の適用性を検討する。現地で適用する測定・分析手法は、露頭記載、帯磁率測定、試料採取などである。室内で適用する手法は、C-14 年代測定、火山灰分析、含水率測定、強熱減量測定、古地磁気測定、帯磁率異方性測定などである。これらの結果に基づき、肉眼観察では確認が困難な堆積物中の断層変位基準を、複数の手法の組合せによって定量的に把握するための体系的な手法を検討する。

(4) 帯磁率測定には、ポケット型帯磁率計 WSL-C を使用した。C-14 年代測定には、NEC 製加速器質量分析装置 15SDH-2 system を使用した。火山灰分析の前処理と粒子区分は古澤(2003)に従い、屈折率測定に温度変化型測定装置 MAIOT を使用した。含水率測定には、東洋製作所製乾燥減菌器 STN620DA を使用し、110 で 3 時間乾燥した。強熱減量測定には、伊勢久製電気炉 DD-1500T を使用し、950 で 1 時間強熱した。古地磁気測定には、夏原技研製スピナー磁力計 SMD-88 を使用した。帯磁率異方性測定には、AGICO 製 MFK1-FA を使用した。

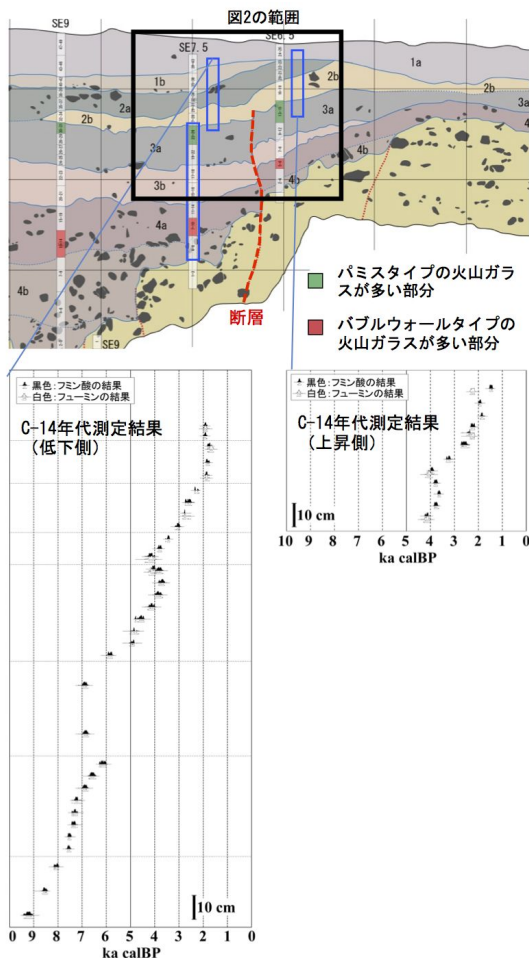
### 4. 研究成果

(1) 露頭 A の断層両側に分布する堆積物(主に黒色土)の C-14 年代値は、下部から上部へ若くなる傾向があり、断層を境に上昇側上部の 12 試料の値は、低下側上部の 17 試料が示す値とほぼ一致する(図 1)。また、肉眼観察からテフラ層を把握することは困難であるが、火山灰分析によって確認できたテフラは、カワゴ平テフラ(3,060~3,190yrsBP; 嶋田, 2000)とアカホヤテフラ(約 7,300 年前; 町田・新井編, 2003)

であり、断層両側に分布している(図1)。C-14年代値とテフラの分布は、断層を境に両側で比較することが可能であり、安江ほか(2009)の強熱減量の分布傾向と調和的である。さらに、C-14年代値とテフラを用いることで、堆積物の堆積年代も合わせて把握することが可能であり、空間的・時間的に有効な変位基準となる。

露頭Aの断層付近の上部(図1の黒四角内)において測定された帯磁率分布を図2に示す。図2では値が小さいほど赤系、大きいほど青系で示している。下部には、厚さが薄くて値が大きい部分(青色)が連続しているが、断層付近を境に不連続となる。さらに、上部の値が大きい部分(青色)にも不連続が認められ、この付近までは断層変位が及んでいる可能性が高い。この例のように帯磁率は、短時間で高分解能のデータが得られることから、変位基準を定量的に把握する際に最初に行う手法として有効な手法の一つになると考えられる。なお、帯磁率の違いが発生する原因として、堆積物の後背地の違い、テフラの混入、腐植土の割合などが関係していると考えられる。

図1 露頭Aにおける断層両側の堆積物の



C-14年代値とテフラ分布

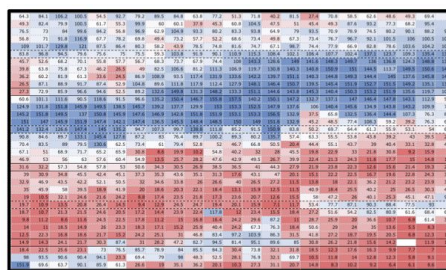


図2 露頭Aにおける断層周辺の帯磁率分布

(3) 露頭Aでの成果と安江ほか(2009)を踏まえて、有効と考えられる帯磁率測定、黒色土の連続C-14年代測定、テフラ分析、強熱減量測定の事例を蓄積するため、露頭Bにおいてこれらの測定・分析を行った。さらに、露頭Bでは、帯磁率異方性測定、古地磁気測定、含水率測定、鉱物観察などを実施し、これらの手法の適用性を確認した。

(4) 露頭Bでの黒色土の連続C-14年代値は、断層両側とも下部から上部へ若くなる傾向が認められる(図3)。低下側は上昇側に比べて層厚が厚いが、断層を挟んで両側で年代値の対比が可能である。低下側の層厚が厚いのは、同じ期間において上昇側より多く堆積した(堆積速度が速い)ためと考えられる。

(5) その他、含水率が60%程度の大きな値を示す部分は低下側の最上部付近だけであり、上昇側には認められない。強熱減量も含水率と同様に70%を越える試料は低下側の最上部付近だけである。また、低発泡タイプのテフラが顕著に含まれる層準は、断層の両側で認められる。さらに、角閃石などの鉱物の分布の特徴からも断層の両側で対比が可能な場合がある。これらの特徴からもC-14年代値と同様に、低下側は同じ期間において上昇側より多く堆積した(堆積速度が速い)と考えられる。

(6) 古地磁気測定の結果、断層の走向と同じ方向の回転軸上にすべての試料の古地磁気方位がプロットされた(図5)。また、断層に近い試料ほど回転量が多い傾向が認められる(図5)。さらに、帯磁率異方性の特徴として、断層近傍において最大軸が比較的高角に再配列している傾向が認められる(図5)。これらのデータから、断層付近で堆積物が変位・変形していると考えられる。このように古地磁気および帯磁率異方性は、活断層の有無、変位基準、変形を定量的に把握する際に有効な手法の一つと考えられる。

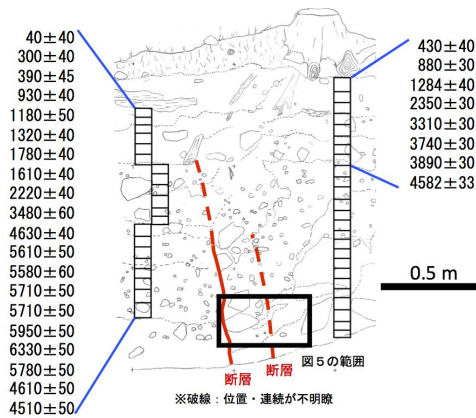


図3 露頭Bにおける断層両側のC-14年代値の分布  
細線四角の枠は試料採取範囲を示す。

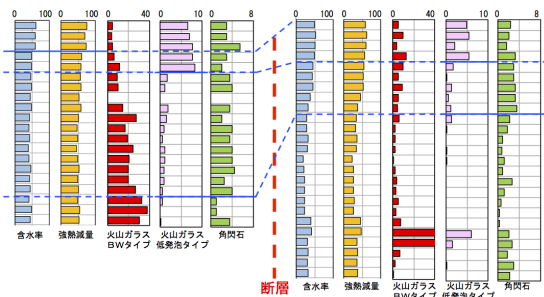


図4 露頭Bにおける断層両側の含水率、強熱減量、火山ガラス、角閃石の分布  
分析試料は図3の細線四角枠から採取

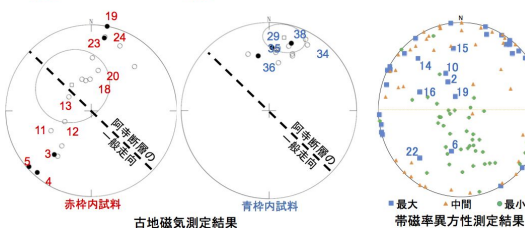


図5 露頭Bにおける古地磁気測定と帯磁率異方性測定の結果

(7) 本研究において、断層変位基準を定量的に把握する手法として有効であることを確認した手法を効率的に適用するために、それぞれの手法の特徴を踏まえて、体系的な作業の流れを検討した(図6)。まず、断層周辺の堆積物において、帯磁率測定を行い、その後プラスチックキューブを用いて試料を採取する。室内では、1つの試料ごとに、古地磁気測定、帯磁率異方性測定、含水率測定、強熱減量測定、火山灰分析の順で行うことが効率的であり、合わせてC-14年代測定を行うことが効果的である。この他にも、試料採取法や試料調製法が異

なるが、石英粒子から後背地の違いを推定するESR法や石英粒子から堆積年代を推定するOSL法なども黒色土が分布しない場合などに有効と考えられる。

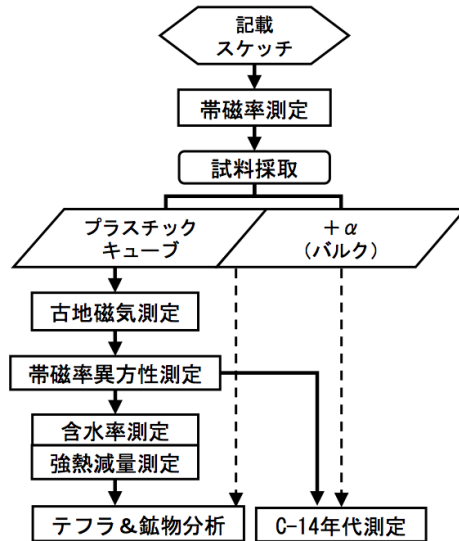


図6 効果的・効率的な作業フロー案

(8) 本研究において実施した黒色土の連続C-14年代測定の結果は、下部から上部に向かって年代が若くなるが、一部、値が逆転したり、同程度の値が続いたりする深度が低下側の試料に顕著に認められる(図1)。これは、何らかの地質イベントを反映している可能性がある。例えば、断層変位に伴い上盤側が崩壊して古い堆積物が一時的に堆積したり、断層変位で低下側が堆積場となり堆積速度が速くなったりした可能性がある。断層変位が原因だった場合、このデータを使うことでイベントの年代が極めて精度よく求めることが可能となり、活断層の履歴調査に有効と考えられる。

<引用文献>

穴倉正展, 遠田晋次, 刈谷愛彦, 永井節治, 二階堂学, 高瀬信一, 木曾山脈西縁断層帯における活動履歴調査(1)-馬籠峠断層下り谷地区におけるトレンチ調査-, 活断層・古地震研究報告, 2002, No.2, pp.41-55.  
 廣内大助, 安江健一, 道家涼介, 阿寺断層帯中部, 加子母長洞地区における断層活動, 日本活断層学会2012年度秋季学術大会一般研究発表講演予稿集, 2012, pp.52-53.  
 安江健一, 廣内大助, 中埜貴元, 酒井英男, 奥村晃史, 海津正倫, 活断層の横ずれ変位によって形成される変動地形と極浅部地質構造との関係: 雁行断層について, 地質学雑誌, Vol.111, 2005, pp.29-38.  
 安江健一, 丹羽雄一, 廣内大助, 須貝俊彦, 活断層の活動に伴う堆積物の変

形を把握する手法の整備, 愛知工業大学地域防災研究センター年次報告書, Vol.5, 2009, pp.93-96.

廣内大助, 安江健一, 阿寺断層帯中部, 中津川市加子母地区における古地震活動調査(速報), 愛知工業大学地域防災研究センター年次報告書, Vol.3, 2007, pp.106-109.

廣内大助, 安江健一, 道家涼介, 佐藤善輝, 杉戸信彦, 松多信尚, 阿寺断層帯中部における後期更新世以降の断層運動-中津川市加子母二渡地区トレンチ調査-, 日本地質学会第121年学術大会, 2014.

古澤明, 洞爺火山灰降下以降の岩手火山のテフラの識別, 地質学雑誌, Vol.109, 2003, pp.1-19.

嶋田繁, 伊豆半島, 天城カワゴ平火山の噴火と縄文時代後~晩期の古環境, 第四紀研究, Vol.39, 2000, pp.151-164.

町田洋, 新井房夫編, 新編火山灰アトラス[日本列島とその周辺], 東京大学出版会, 2003, 336p.

## 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)

[学会発表](計10件)

廣内大助, 松多信尚, 安江健一, 竹下欣宏, 道家涼介, 佐藤善輝, 石村大輔, 石山達也, 杉戸信彦, 塩野敏昭, 谷口薫, 澤祥, 渡辺満久, 鈴木康弘, 神城断層調査グループ, 糸魚川-静岡構造線活断層帯神城断層北部における断層活動, 日本地理学会2017年春季学術大会, 2017年3月28-30日, 筑波大学(茨城県・つくば市)

安江健一, 徳安佳代子, 小松哲也, 堀内泰治, 清水麻由子, 丹羽正和, 電子スピン共鳴法を用いた後背地解析技術の研究, 日本地質学会第123年学術大会, 2016年9月10-12日, 日本大学(東京都・世田谷区)

徳安佳代子, 田村糸子, 小松哲也, 安江健一, 河成段丘堆積物のOSL年代測定と指標テフラ分析, 日本地球惑星科学連合2016年大会, 2016年5月22-26日, 幕張メッセ(千葉県・千葉市)

山田隆二, 國分(齋藤)陽子, 若月強, 安江健一, 化学的処理法の違いによる放射性炭素年代測定に対する影響評価, 日本地球惑星科学連合2016年大会, 2016年5月22-26日, 幕張メッセ(千葉県・千葉市)

山田隆二, 若月強, 國分(齋藤)陽子, 安江健一, AMS放射性炭素年代測定に対する化学的前処理法の違いが与える影響の評価, 平成27年度ESR応用計測研究会・第40回フィッション・トラック研究会・ルミネッセンス年代測定研究会合同研究会, 2016年3月4-6日, しいのき迎賓館(石川県・金沢市)

Yasue, K., Hirouchi, D., Saito-Kokubu, Y., Matsubara, A., Furusawa, A., Identification of Faulting Events based on Radiocarbon Ages of Continuous Black Soil along Active Fault in Trench Wall, American Geophysical Union 2015 Fall Meeting (AGU 2015), T41B-2894, 2015年12月14-18日, サンフランシスコ(米国)

松原章造, 藤田奈津子, 西澤章光, 三宅正恭, 西尾智博, 大脇好夫, 眞田勝樹, 國分(齋藤)陽子, JAEA-AMS-TONOの現状(平成26年度), 第28回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会, 2015年7月3-4日, 東北大学(宮城県・仙台市)

廣内大助, 杉戸信彦, 金田平太郎, 後藤秀昭, 松多信尚, 鈴木康弘, 石黒聡士, 熊原康博, 2014年神城断層地震地形調査グループ, 2014年長野県北部の地震(神城断層地震)に伴う地表地震断層と活断層, 日本地球惑星科学連合2015年大会, 2015年5月24-28日, 幕張メッセ(千葉県・千葉市)

安江健一, 廣内大助, 松原章造, 國分(齋藤)陽子, 活断層露頭における黒色土の放射性炭素年代の深度分布によるイベント認定の試み, 日本地質学会第121年学術大会, 2014年9月13-15日, 鹿児島大学(鹿児島県・鹿児島市)

廣内大助, 安江健一, 道家涼介, 佐藤善輝, 杉戸信彦, 松多信尚, 阿寺断層帯中部における後期更新世以降の断層運動-中津川市加子母二渡地区トレンチ調査-, 日本地質学会第121年学術大会, 2014年9月13-15日, 鹿児島大学(鹿児島県・鹿児島市)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

安江 健一 (YASUE, Ken-ichi)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構  
バックエンド研究開発部門 東濃地  
科学センター・研究副主幹

研究者番号: 10446461

### (2) 研究分担者

廣内 大助 (HIROUCHI, Daisuke)  
信州大学・学術研究院教育学系・教授  
研究者番号：50424916

松原 章浩 (MATSUBARA, Akihiro)  
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター・技術・技能職  
研究者番号：40399308  
(平成28年度より削除)

徳安 佳代子 (TOKUYASU, Kayoko)  
独立行政法人日本原子力研究開発機構・バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター・博士研究員  
研究者番号：90721944  
(平成27年度より削除)