

## 様式C-19

# 科学研究費補助金研究成果報告書

平成 22 年 5 月 15 日現在

研究種目：基盤研究（B）  
研究期間：2007～2009  
課題番号：19403001  
研究課題名（和文）表層地質と変動地形に基づく陸上プレート境界断層における地震サイクルの実証的研究  
研究課題名（英文）Studies on earthquake cycles of continental transform faults based on surface geology and geomorphology  
研究代表者  
奥村 晃史（OKUMURA KOJI）  
広島大学・大学院文学研究科・教授  
研究者番号：10291478

研究成果の概要（和文）：トルコ北部を横断する陸上トランスフォーム断層である北アナトリア断層を対象として、地震発生メカニズムと再来の機構の解明を試み、二周波型 RTK-GPS を用いた地形計測と断層活動評価の手法を確立し、北アナトリア断層 1944 年セグメント上のゲレデ東方でトレンチ掘削調査を行って過去のスリップを精密に計測した。また、地震サイクルに影響を与える断層周辺に分布するテクトニックストレスを検討するために考古地震調査を行った。さらに、地震規模の不確定性をロジックツリー評価手法を用いて検討した。

研究成果の概要（英文）：Recurrence behavior and mechanism were studied on the continental transform of the North Anatolian fault in Turkey. Firstly, high-precision topographic survey of the recent surface ruptures and associated deformation was carried out using dual-frequency RTK-GPS receivers. Secondly, trenching study was conducted in the east of Gerede on 1944 rupture to precisely determine timing and offset of 5 recent events. Thirdly, uncertainties of magnitude forecastw were analyzed using logic-tree evaluation methods.

### 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
2008 年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2009 年度	3,200,000	960,000	4,160,000
年度			
年度			
総計	12,800,000	3,840,000	16,640,000

研究分野：地球惑星科学

科研費の分科・細目：地理学・地理学

キーワード：トランスフォーム・地震サイクル・地形計測・活断層・古地震学・ロジックツリー・トレンチ掘削調査・考古地震学

### 1. 研究開始当初の背景

長大な断層から発生する地震の規模と繰り返し間隔には規則性があることは、1981 年

に Characteristic Earthquake Model として提示された。1990 年代の地震時地質学の研究成果は、規則性よりは不規則性を示す結果

を多く提出しモデルには疑義も抱かれた。しかし、規則性の乱れの原因となる断層の相互作用や、大地震の震源断層末端で生じる応力集中などを考慮すると、歪み速度の大きな断層の地震には規則的な再来の可能性が高いとする考えもある。また、最近5年間に実現した地震発生におけるアスペリティモデルの確立と、相似地震の繰り返し発生の確認は、類似した規模の地震が繰り返し発生することを明示的に示している。

1990年以來、申請者らは北アナトリア断層で多数の古地震学調査を実施して、このような規則的な地震発生のモデルが現実的であるとの見通しを得た。しかし、過去の地震発生時期に関しては、最後の2回が歴史記録から正確に知られている以外依然として誤差が大きく、3回前、5回前以前の地震に関しては地震発生時期に100年以上の誤差があった。過去の地震規模の解明は過去4回の地震について一地点での推定値が得られたが、他の地点での検証は進んでいなかった。

また、長期的に見た地殻応力の蓄積と解放に関しては、GPSによる最近十年余りの歪み速度と地質学的に求められた数百年～数千年の歪み速度との間には大きな違いがあることが解っていた。その違いの検証と合理的な応力の蓄積・解消モデルの検討も緊急の課題であった。

一方、地震サイクル解明の目的の一つである地震発生予測については、1999年イズミット地震以降、大地震の再来が強く懸念されているイスタンブール・マルマラ海周辺では確率論的・決定論的地震予測が行われていたが、それより東の地域では、予測もその評価も行われていなかった。

## 2. 研究の目的

20世紀の一連の地震の中でも最も規模の大きい地震のひとつである1944年震源断層を対象として、地震サイクルを確認して地震再来に関わる仮説を検証し地震再来モデルを確立する。北アナトリア断層中部は、断層の相互作用や応力伝播などの影響が非常に小さい、理想状態に近いトランスフォーム断層であり、モデル検証に最も適した研究対象である。ここで、過去数回の地震を対象に地震発生時期と地震時スリップ量の正確な決定を行う。また、過去2000～5000年間の長期的な変位

速度の推定を試みる。さらに、北アナトリア断層とその周辺における地殻応力の蓄積と解消についての見通しを得るために、断層周辺地域での古地震・考古地震学的研究を行う。これらのデータをもとに長期的な地震危険度評価を行うことを目的とする。

## 3. 研究の方法

従来から実施されている地形・地質調査、および地震危険度評価の手法に加えて、以下の2点を新たな方法として導入し技術開発を進める。

(1) 二周波GPS1組を用いた後処理/リアルタイム・キネマティック変動地形計測は最大20Hzで誤差2cm以下の測定を可能としている。この技術は土木工学の応用面では普及しているが、理学的な地形分析や地震に伴う地変の記載への応用は試験的に行われているだけである本研究では期間中に活断層研究のためのGPS測定の手法を確立させ普及させる。

(2) 地形・地質データを総合して震源断層データベースを作成し、長期的な地震危険度評価を合理的に行う。この手法は、1990年代半ばに確立し、アメリカ合衆国・日本で一般に公表されている。しかし、従来の評価はナショナルプロジェクトとして膨大な人手と経費をかけて行われ、発展途上国での応用は容易ではなかった。本研究では、少数の研究者グループにより機動的に地震危険度評価を行う手法を確立することを試みる。

## 4. 研究成果

### (1) 1944年地震断層ゲレデ東方におけるトレンチ発掘調査

北アナトリア断層1944年セグメントでは、1944年、1668年、1035年カタログに記されているが、Gerede東方約15km Ardikli地点のトレンチ掘削調査によって、13-14世紀に従来記録のないイベントが存在することを確認でき、このイベントを含む過去3回の地震ごとのスリップを精度良く復元することができた。

2009年の調査では、約1000年前以降の地層を3～4m程度切り込んでおよそ1500AD以降の堆積物に覆われ、断層にほぼ直交するチャンネルが現れた。このチャンネルの横ずれ量

を復元するために、断層に平行に5本のトレンチを掘削し、それらのトレンチ底から2～3m掘り込んでチャンネルの断面系を計測した。その結果谷線には12～15m、チャンネル堆積物の上縁には約13.3mの右横ずれ累積変位を求めることができた。

チャンネルの年代については、チャンネル縁に生存時の位置のままで発掘された樹木の年輪から最内輪と最外輪、およびチャンネル堆積物の複数の層準にほぼ完全な形で含まれる松の球果10点を測定して、1050ADから1250ADまでの高精度の年代測定値を得た。このことから、チャンネルの形成年代は1035年の地震発生直後である可能性が高い。

## (2) トルコ・アナトリアプレートの内部変形と古地震

GPS測地成果から、北アナトリア断層は25mm/yr程度の一様な平均変位速度をもつ単純なプレート境界と見なされることが多い。しかし、変動地形・古地震データから推定される変位速度はGPS測地成果を下回り、かつ一様ではない。アナトリアプレート内部には北アナトリア断層の分岐断層が伸びるほか多数の第四紀断層が存在し、被害地震も発生している。また、アナトリア全体の広域隆起やトロス山脈の隆起もテクトニックな原因をもつ可能性がある。

地質・地形に基づく平均変位速度が最も詳細に求められている1944年地震断層では15mm/yr程度、1943年地震断層では10-15mm/yrおよび20.5±5.5mm/yrという値が報告されている。1939年地震断層東端では20mm/yrという予察的な値が報告されている。

古地震記録からみる明瞭な地表変位を伴う地震の頻度は、マルマラ海周辺地域と1939年セグメントで高く、1943、1944セグメントで低い可能性がある。この違いを説明する仮説としてアナトリアプレートの内部変形を設定し、その状況を調査するため、従来顧みられることのほとんどなかった、

アナトリアプレート内部の古地震の調査を考古地震学の手法を用いて検討する調査を開始した。アンカラの南南東約120kmに位置するカマン・カレホユック遺跡の紀元前2000～400年の断面を精密に調査した。発掘区域には斜面崩壊に伴う正断層や深いクラックが多数分布するほか、地すべりにともなう地盤

の回転や、石垣のはらみ出し変形が認められる。最も顕著な地盤変状は紀元前一千年紀後半のヒッタイト帝国期に時代対比される。地震による強い地盤震動がこれらの地盤変状を引き起こした可能性が高い。

さらに、1939年地震時に活動した、アマシヤ分岐断層の古地震調査を行った。アマシヤ分岐断層はニクサルから南方に分岐して約100km連続する断層であるが、従来地形・地質の詳細な調査は行われていなかった。ここで、断層トレースを確認するとともに、2地点でRTK-GPSを用いた断層変位地形の計測を行い、平均変位速度と過去の地震発生時期の分析を試みた。

## (3) ロジックツリー評価手法を用いた長大活断層帯における規模の不確定性の考察

長大活断層帯から発生する地震の連動および規模予測に関して、不確定性を伴う事象に対する確率論的な評価の感度分析を行うことを目的に、北アナトリア断層を対象としたハザードカーブの算出にロジックツリーの考え方をを用いた。北アナトリア断層帯における規模頻度予測に関する分岐項目としては、(a)活断層帯の連動のシナリオ、(b)地震の規模予測式、(c)連動時の規模評価手法、(d)距離減衰式の裾の打ち切り、の4項目を挙げた。連動のシナリオについては、断層幾何形態と歴史地震の挙動を総合的に解釈して38のセグメントに区分し、これらの連動についてのロジックツリーの重みは、過去の活動履歴、クーロンの破壊関数の変化量( $\Delta$ CFF)を用いて検討を行って、連動のシナリオを設定した。トルコでの地震を基に断層長と地震規模で回帰されたAmbraseys & Zatopek(1968)の経験式、世界の地震を集めたデータベースによる断層長と地震規模の回帰式の3通りの分岐を設定した。この規模予測式についての重みは、実際に観測されたMwと回帰式で求められたMwを比較し、6:4:5に設定した。

規模評価手法については、スケーリングモデルとカスケードモデルを設定し、重みは、北アナトリア断層帯に沿って連動した記録のある過去の6つの観測地震について、実際のMwと両Modelからそれぞれで計算したMwを比較して4:2とした。距離減衰式の裾の打ち切りについては、地震動は無限大にはならず上限があるとの議論を踏まえ、打ち切りを行う場合と、行わない場合を設定した。

今回の結果をもとに、北アナトリア断層の地震危険度評価での感度分析として、兵庫県南部地震で被害が大きかった場所で観測された地表での最大速度 (PGV) 166cm/s での、連動のシナリオへの重みを連動のシナリオすべてに等分とした時と、1/2 の (連動したセグメントの数) 乗とした時とを比較した。その結果、Bolu において重み評価後の地震発生確率は 0.04 倍となり、長大な断層帯での連動が地震危険度評価に大きな影響を与えると考えられる。

#### 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 2 件)

- ① 奥村晃史・出穂雅実, RTK-GPS を用いた段丘面高度の精密測定に基づくナウマンゾウ産出層準の検討, 化石研究会会誌, 特集号, 4, 23-26, 2010. [査読有]
- ② 中田 高・隈元 崇・奥村晃史・後藤秀昭・熊原康博・野原 壯・里 優・岩永昇二: 空中レーザー計測による活断層変位地形の把握と変位量復元の試み, 活断層研究, 29 号, 1-13, 2008. [査読有]

[学会発表] (計 4 件)

- ① Koji Okumura, Thomas K Rockwell, Sinan O Akciz, Neta Wechsler, Ersen Murat Aksoy, Daisuke Ishimura: Slip History of the 1944 Rupture Segment on North Anatolia Fault Near Gerede, Turkey: Constraints on Earthquake Recurrence Models. American Geophysical Union 2009 Fall Meeting, San Francisco, USA, 2009年12月17日.
- ② Koji Okumura: Regional Paleoseismology Within Tectonic Complexity of Plate Interior and Island Arcs: the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line Active Fault System in Central Japan, American Geophysical Union 2008 Fall Meeting, San Francisco, USA, 2008年12月14日.
- ③ 奥村晃史: トルコ・アナトリアプレートの内部変形と古地震, 日本地球惑星科学

連合 2008 年大会. 幕張, 2008 年 5 月 28 日.

- ④ Koji Okumura: Archaeoseismology of the Hittite Age in the Central Anatolia at Kaman, Turkey. Seismological Society of America 2008 Annual Meeting, Albuquerque, USA, 2008 年 4 月 17 日.

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

奥村 晃史 (OKUMURA KOJI)  
広島大学・大学院文学研究科・教授  
研究者番号: 10291478

##### (2) 研究分担者

前杢 英明 (MAEMOKU HIDEAKI)  
広島大学・大学院教育学研究科・教授  
研究者番号: 50222287  
後藤 秀昭 (GOTO HIDEAKI)  
広島大学・大学院文学研究科・准教授  
研究者番号: 40323183

隈元 崇 (KUMAMOTO TAKASHI)

岡山大学・自然科学研究科・准教授  
研究者番号: 60285096

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号: