

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 9 月 22 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24501289

研究課題名(和文) 東北地方太平洋沖地震に誘発された内陸活断層地震の地形学的・古地震学的研究

研究課題名(英文) Geomorphological and paleoseismological study of the inland normal faulting earthquakes in Iwaki area triggered by the 2011 Tohoku earthquake

研究代表者

堤 浩之(Tsutsumi, Hiroyuki)

京都大学・理学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60284428

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震によって、福島県いわき地域で正断層型の群発地震活動が誘発された。同年4月11日には、マグニチュード7の大地震(福島県浜通りの地震)が発生し、湯ノ岳断層と井戸沢断層に沿って明瞭な地震断層が現れた。井戸沢断層のトレンチ調査の結果、ひとつ前の活動は1万数千年前であることが明らかとなり、約千年の周期で繰り返す海溝型超巨大地震のたびに変位するのではないことが判明した。いわき地域には、その他にも、活断層の可能性のある二ツ箭断層と赤井断層が分布する。地形・地質調査やトレンチ掘削調査の結果、二ツ箭断層は第四紀後期に活動した可能性があることがわかった。

研究成果の概要(英文)：Inland normal faulting earthquake swarm was triggered in Iwaki area, southeastern Fukushima Prefecture, by the 11 March 2011 Tohoku-oki earthquake. The Fukushima-ken Hamadori earthquake (M 7.0) of 11 April 2011 was the largest earthquake with surface ruptures along the Yunodake and Itozawa faults. Trenching study revealed that the penultimate event on the Itozawa fault occurred sometime between 12,500 and 17,000 yBP. The recurrence interval of the surface faulting on the Itozawa fault is much longer than that of the huge mega-thrust earthquake off Tohoku region. In addition to the faults that ruptured in 2011, there are other possibly active normal faults such as the Futatsuya and Akai faults. Geomorphic mapping and trenching study suggest that the Futatsuya fault may be late-Quaternary active fault capable of producing an M7-class earthquake.

研究分野：地形学

キーワード：2011年3月東北地方太平洋沖地震 2011年4月福島県浜通りの地震 活断層 正断層 断層変位地形 古地震 トレンチ掘削調査 地中レーダー探査

1. 研究開始当初の背景

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)では、長さ約500kmで幅約200kmのプレート境界が破壊した。この地震は東北日本の応力状態を大きく変え、いくつかの地域で誘発地殻内地震が多発している(Toda et al., 2011, GRL)。福島県南東部のいわき市周辺も3月の地震後に地殻内地震活動が活発になった地域であり、ほとんどの地震が東西あるいは北東-南西方向のT軸を持つ正断層型の地震であることが特徴的である。4月11日には、いわき市直下でMw6.6の正断層型の地震が発生し、活断層研究会編(1991)や中田・今泉編(2002)で確実度IIあるいは推定活断層とされていた井戸沢断層や湯ノ岳断層に沿って、明瞭な正断層型の地震断層が現れた。

この地震は、以下のような点において、これまでの活断層研究の常識を覆す地震であった。1)プレートの沈み込みに起因する東西圧縮の応力場のもとで南北走向の逆断層が卓越する東北日本において、正断層型の大地震が発生した、2)断層変位地形が明瞭とはいえない確実度IIあるいは推定活断層が活動して、明瞭な地震断層を伴う大地震が発生した、3)ひとつの地震で、独立した2条の断層(湯ノ岳断層・井戸沢断層)が同時に破壊した、4)海溝型超巨大地震の発生に誘発されて活動する内陸活断層が存在することが明らかとなった。3月の海溝型地震および4月の内陸直下型地震は、近代的な地震・活断層研究が始まって以降の100年間では非常に特異な地震であった。しかし、より長期間(数百~千年)の地震サイクルの中では繰り返し起こってきた定常的な事象であるという指摘もある(佐竹, 2011, 科学)。よって、東北地方太平洋沖地震に誘発された4月の地震の地形・地質学的背景を明らかにすることは、学術的見地および活断層評価の高精度化の見地からも極めて重要である。

そのような観点から、我々の研究グループは地震発生直後から地震断層のマッピングを続け、さらに井戸沢断層のトレンチ掘削調査を行った。しかし、研究は端緒に終わったばかりであるというのが現状である。特に、湯ノ岳断層と井戸沢断層の変位地形や断層露頭の解析に基づく活断層評価は全く進んでおらず、今後の課題として残されている。予察的な空中写真判読では、これらの断層に沿って鞍部列や分離丘、河谷の左屈曲などの断層変位地形を認定することができるが、変位地形の詳細な解析や現地調査は未着手である。また湯ノ岳断層の北東には正断層であることが露頭で確認されているが(活断層研究会編, 1991)、これらの断層も4月の地震で破壊した断層群と同様な活断層である可能性があり調査が必要である。古地震調査についても、上記の調査対

象断層すべてを網羅し質量共に十分なデータを得ることが必要と考え本研究を立案した。

2. 研究の目的

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震に誘発された4月11日の福島県浜通りの地震は、活断層研究の常識を覆す地震であった。本研究では、この地震で出現した地震断層を詳細に記録し、震源活断層の地形学的・古地震学的研究を行う。さらに、福島県浜通りの地震の震源域周辺に分布する北西-南東走向の正断層について詳細な地形調査とトレンチ掘削調査を行い、これらの断層の第四紀後期の活動の有無や活動履歴を明らかにする。これを海溝型超巨大地震の発生履歴と照合することで、これらの活断層群の活動が常に海溝型超巨大地震と連動しているのか否かを検証し、活断層研究の新たな展開につなげる。

3. 研究の方法

研究目的を達成するために、以下のような調査を行う。

- 1) 福島県浜通りの地震で出現した地震断層のマッピングを完了する。
- 2) 湯ノ岳断層と井戸沢断層の断層変位地形の解析を行い、地震断層の出現位置や変位センスとの比較検討を行う。
- 3) 空中写真判読により、いわき地域に分布する活断層の可能性のある断層をマッピングし地表踏査を行う。特に、河成段丘面の変位の有無や断層露頭に着目した調査を行う。
- 4) トレンチ掘削調査や浅層物理探査により、いわき地域の正断層の第四紀後期の活動の有無や活動履歴を明らかにする。
- 5) 研究成果を学会発表や論文として公表する。

4. 研究成果

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震によって、福島県いわき地域で正断層型の群発地震活動が誘発された。同年4月11日には、マグニチュード7の大地震(福島県浜通りの地震)が発生し、従来推定活断層と認定されていた湯ノ岳断層と井戸沢断層に沿って西側が低下する明瞭な地震断層が現れた。この地震断層についてほぼ全域を踏査し、出現位置や変位量を明らかにした。調査位置は携帯型のGPSで記録した。変位量は地震前の地形が明瞭に復元できる箇所を中心に、折り尺やハンドレベルを用いて計測した。舗装道路などの人工構造物の変位量は、オートレベルを用いた断面測量により正確に計測した。地震断層の長さは湯ノ岳断層と井戸沢断層に沿ってともに約15kmであり、最大上下変位量は前者が0.9m、後者が2.1mである。湯ノ岳断層の

北西部に沿っては系統的な左横ずれ変位が計測されたが、その量は最大でも 20cm 程度であった。多くの地点で高角度西傾斜の断層面が露出し、正断層変位が確認された。地表の堆積物や土壌が厚い地域では、断層面が地表まで到達せず、地表の変位は撓曲として現れた。撓曲崖の頂部には引張割れ目が発達し、横ずれ成分がある場合には、それらが雁行配列するのが認められた。

いわき市田人町掛橋で行った井戸沢断層のトレンチ掘削調査では、高角度西傾斜の断層面が露出した。地表の撓曲変位と調和的に、堆積物が西に撓み下がるのが確認された。地層の上下変位量の違いや開口クラックの存在に基づき、2011 年のひとつ前の活動の地質学的痕跡が確認された。地震イベント層準の上下の地層の放射性炭素年代測定結果に基づき、ひとつ前の活動年代が 12500~17000 年前と求められ、歴史時代の海溝型超巨大地震と考えられている 869 年の貞観地震の際に活動した痕跡は見いだせなかった。東北沖における海溝型超巨大地震の発生履歴は十分に明らかになっていないが、そのような超巨大地震の発生のたびに、いわき地域の個々の正断層が活動しているのではないことが確認された。2011 年 3 月以降の一連の地震活動は、海溝型超巨大地震に誘発されて活動する内陸活断層が存在することを示すと共に、変位地形が不明瞭な推定活断層もそのような状況下で大地震を発生させ得ることを示した。

空中写真の詳細判読による断層変位地形の解析では、湯ノ岳断層に沿って河谷の系統的な右屈曲が認められた。また湯ノ岳断層に沿った地震断層は明瞭な左ステップを示すが、これも断層変位地形に基づいてマッピングされる断層トレースの特徴と一致することが明らかとなった。これらから、湯ノ岳断層も第四紀後期に同様な活動を繰り返してきた活断層であることがわかる。上記の地震断層のマッピングや断層変位地形の解析、および井戸沢断層のトレンチ掘削調査については、堤・遠田 (2012, 地質学雑誌) と Toda and Tsutsumi (2013, BSSA) にまとめた。

いわき地域には、湯ノ岳断層の北東方にも、同様な北西-南東走向の正断層である二ツ箭断層と赤井断層が分布する。これらの断層も、基盤岩からなる山地と中新統の堆積岩からなる丘陵の地形境界をなし、活断層である可能性がある。これらについて、空中写真判読と現地踏査を行った。

二ツ箭断層に沿っては、連続する鞍部列や河谷の系統的な左屈曲が観察される。また、北東側の基盤岩と南西側の中新世の堆積岩が、高角度で南西に傾斜する断層面を介して接しているのが複数の露頭で確認された。ただし、二ツ箭断層による第四系の変位の有無を確認できる露頭は見いだされなかった。いわき市四倉町上岡と沼ノ原で、

北東隆起の二ツ箭断層本体の antithetic 断層の可能性のある南西隆起の崖地形を見出した。ともに、河川の侵食崖としては不自然であり変動崖の可能性が高いと判断した。これらの崖地形について地中レーダー探査を行ったところ、崖の周辺で反射面の不連続や傾斜の変化が確認された。これらは断層変位地形の可能性があるため、それぞれの地点でトレンチ掘削調査を行った。上岡では、崖の直下に高角度で北傾斜する断層が露出した。断層の上盤側に、より若いと考えられる地層が分布するので、正断層であると考えられる。露出した地層は、やや固結~未固結の崖錐性の角礫層およびやや円磨された流路堆積物からなる。炭質物やテフラなど、年代を特定できる試料は見出されなかった。しかし、地層の固結度や礫の風化度からみて、第四紀の堆積物であることは間違いない。地表付近を除いて、断層の両側の地層を直接対比できないので、両者を隔てる構造が断層ではなく流路の壁である可能性も残されている。また調査地は地すべりブロック中に位置するため、ブロック中の内部変形の可能性も現時点では否定できない。沼ノ原では、崖の直下および近傍に断層は露出せず、段丘面を構成する砂層がほぼ水平に堆積していた。よってこの崖は侵食崖であると判断される。これらの地形・地質調査結果から、二ツ箭断層は第四紀後期に活動した活断層である可能性があるが、確定的な証拠を得ることはできなかった。

赤井断層に沿っては、第四紀後期の活動を示唆する明瞭な変位地形は認められなかった。現地踏査により、基盤の花崗岩中の断層や破碎帯を複数の地点で確認することができたが、中新統や第四系との関係について検討できる露頭を見いだすことはできなかった。

これらの調査結果から、いわき地域に分布する北西-南東走向の正断層のうち、二ツ箭断層・湯ノ岳断層・井戸沢断層の少なくとも 3 条は、第四紀後期にも繰り返し活動している活断層である可能性が高いと考えられる。井戸沢断層で明らかとなった活動間隔に基づくと、これらの個々の断層は沖合の海溝型超巨大地震の度に活動しているのではないと考えられる。2011 年地震が示すように、歪みが十分に蓄積した断層が海溝型超巨大地震が引き金となって活動する可能性があるが、それらの頻度やメカニズムについて議論できるデータは未だに質量共に不足している。

調査地域の断層の活動度はそれほど高くなく、新期の地形面を切る断層崖などの明瞭な変位地形が見られる箇所はほとんどない。このような活動度の低い活断層の調査には、安価で非破壊の物理探査の併用が不可欠である。本研究では、一般財団法人電力中央研究所の木村治夫氏と、地中レーダ

一 探査手法の活断層研究への応用に関する共同研究を行った。周波数や測点間隔などのパラメータを様々に変化させ、調査地点の地質・断層構造をイメージングするのに有効な調査方法を検討した。いわき市田人町掛橋の井戸沢断層のトレンチ掘削調査地点の横で行った探査では、西に高角度で傾斜する断層と、地層の西への撓みというトレンチ壁面で観察された堆積・変形構造を明瞭に捉えることができ、地中レーダー探査が浅層の地質構造を十分な精度で明らかにできることが実証された。さらに、トレンチ底よりも深部(深度約10m以浅)の地質構造をイメージングすることができ、地層の累積変位に基づきトレンチ調査では認定できなかったさらに古い時期の断層活動の痕跡を認定できる可能性が示唆された。またいわき市四倉町上岡や沼ノ原での探査では、トレンチ掘削位置の絞込みのために、複数の測線で探査を行った。その結果に基づき掘削地点を選定し、上岡では圃場整備のために原地形はかなり改変されていたが断層を露出させることができた。また壁面の地質構造の解釈に有効なデータを得ることができた。これらの成果については、木村ほか(2014)とKimura et al.(2015)で学会発表を行った。これらの成果については、今後論文としてまとめる予定である。

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2件)

堤 浩之・遠田晋次, 2012, 2011年4月11日に発生した福島県浜通りの地震の地震断層と活動履歴, 地質学雑誌, 118, 559-570.

Toda, S. and Tsutsumi, H., 2013, Simultaneous reactivation of two, subparallel, inland normal faults during the Mw 6.6 11 April 2011 Iwaki earthquake triggered by the Mw 9.0 Tohoku-oki, Japan, earthquake, Bulletin of the Seismological Society of America, 103, 1584-1602.

〔学会発表〕(計4件)

堤 浩之・遠田晋次・安田大剛・杉戸信彦・小俣雅志・郡谷順英・森 良樹・杉山達哉・早瀬亮介, 2012, 2011年4月11日福島県浜通りの地震で出現した地震断層の特徴と活動履歴, 日本地球惑星科学連合2012年大会.

堤 浩之, 2012, 東北地方太平洋沖地震に誘発された福島県浜通りの地震, 重点検討課題「内陸で発生する地震」の検討, 第196回地震予知連絡会.

木村治夫・堤 浩之・東丸直頌・石村大輔, 2014, 福島県浜通り地域の二ツ筋断層・井戸沢断層における地中レーダー探査, 日本地質学会第121年学術大会.

Kimura, H., Tsutsumi, H., and Higashimaru, N., 2015, Shallow subsurface (-10 m) structure of coseismic surface ruptures revealed by ground penetrating radar profiling across the Itozawa fault zone, southern Fukushima, NE Japan, 2015 Hokudan International Symposium on Active Faulting.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

堤 浩之(TSUTSUMI, Hiroyuki)
京都大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号: 60284428

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

遠田晋次(TODA, Shinji)
東北大学・災害科学国際研究所・教授
研究者番号: 80313047