

氏名・(本籍)	さ さ き あ き みち 佐々木 亮 道
学位の種類	博 士 (理 学)
学位記番号	理博第2708号
学位授与年月日	平成24年3月27日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科, 専攻	東北大学大学院理学研究科(博士課程)地学専攻
学位論文題目	出羽丘陵西麓の活構造に関する変動地形学的研究
論文審査委員	(主査) 教授 今 泉 俊 文 教授 吉 田 武 義 教授 宮 内 崇 裕 (千葉大学大学院理学研究科) 准教授 平 野 信 一 助教 大 月 義 徳

論 文 目 次

第I章 はじめに

1. 研究の背景と目的
2. 研究史

第II章 研究方法

1. 変動地形の把握
2. 地質構造の把握と断層モデルの作成

第III章 地域概要

1. 地形・地質
2. 活断層

第IV章 活断層の分布と変動地形

1. にかほ地域
 - (1) 地形分類
 - (2) 活断層分布
2. 庄内地域
 - (1) 地形分類
 - (2) 地表の変形

第V章 断層関連褶曲の発達モデル

1. モデルの作成方法
2. にかほ地域
 - (1) 仁賀保衝上断層帯
 - (2) 小滝断層帯

3. 庄内地域

- (1) 酒田衝上断層帯
- (2) 前縁断層帯

第VI章 考察

1. にかほ地域の活構造

- (1) 仁賀保衝上断層帯
- (2) 小滝断層帯

2. 庄内地域の活構造

- (1) 酒田衝上断層帯
- (2) 前縁断層帯
- (3) 烏海山南西麓断層帯

3. 活構造の相違にもとづく起震断層の認定と歴史地震との対応

- (1) 活構造の比較
- (2) 起震断層の認定
- (3) 歴史地震との対応

第VII章 結論と課題

1. 結論

2. 今後の課題

論文内容要旨

研究の目的・方法

東北日本の鮮新世から第四紀における変形は、厚い堆積層が分布する羽越褶曲帯から北部フォッサマグナに集中している。この羽越褶曲帯の東部、出羽丘陵の西縁付近には、南北約 200km にわたって北由利衝上断層系が分布する。この断層系は、鮮新世以降の地殻の圧縮場において、地殻の短縮変形や地形発達に関して主要な役割を担ってきたと考えられている。しかし、当該地域は固結度の弱い厚い堆積層に覆われることなどから、伏在断層の上盤に活褶曲が発達する褶曲-衝上断層帯をなしており、地表や地層の変形と地下の断層との関係は多くの地域でよく分かっていない。日本海沿岸地域で数多く知られている被害を伴う歴史地震は、この断層系の活動に起因するものも多いと考えられる。しかし、陸上の活断層分布は不明瞭な場合が多く、その震源断層や地震発生のメカニズムについても、十分に明らかにされているとは言えない。また、この一連の長大な断層系が同時に活動して地震を発生させることがあるのか、それともいくつかの範囲に分かれてそれぞれ独立して活動するのかについても詳しくわかっていない。さらに、この断層系は、海陸の境界付近に位置するため、海岸付近の変動地形が砂丘砂に覆われていたり、海岸侵食で消失したりするなどして、詳細な調査・研究を困難にしている。特に、北由利衝上断層系を構成する断層帯の一つである仁賀保衝上断層帯付近は、火山噴出物に広く覆われることなどから研究が遅れている。

また、同じく北由利衝上断層系を構成する断層帯の一つである酒田衝上断層帯付近では、断層上盤側の段丘面の変形や、地層の褶曲変形がみられる。しかし、断層沿いの線的な調査は数多くあるものの、地表や地層の変形と地下の断層との関連づけは詳細にはなされていない。すなわち、褶曲-衝上断層帯におい

ては、断層沿いの調査・研究だけでは限界があり、活断層や活褶曲などの活構造に着目し、断層活動と褶曲発達、およびそれに伴う地表の変形を総合的に把握する必要がある。

そこで本研究では、北由利衝上断層系のうち仁賀保衝上断層帯と酒田衝上断層帯付近を調査対象とし、本地域の活構造（活断層分布、断層関連褶曲の発達様式、断層上盤の背斜軸付近の鉛直変位速度等）を明らかにすることを第一の目的とした。その上で、活構造の相違にもとづいて一回の地震時に同時に動く可能性のある起震断層の認定を行い、さらに、その起震断層と歴史地震との対応を検討した。そしてそれらのことを通して、鮮新世以降の圧縮場における出羽丘陵西縁付近での逆断層システムと褶曲構造の発達、それらと地表変形や地震との関係についての全体像を把握することを目指した。

研究方法は、第一に、地表の変形を量的に把握するために、空中写真判読・地形図読図・現地調査等によって地形分類を行い、断層変位地形部分の地質断面図・地形断面図を、ボーリングデータ、DEM、レーザー測量データなどを利用して作成した。第二に、断層活動と褶曲構造発達の関係や活褶曲の発達様式を明らかにするために、地質構造を利用したバランス断面法によって断層関連褶曲の発達モデルを作成した。そして、断層活動・褶曲発達・地表変形の関係モデルとして明示し、調査地域の活構造の相違を明確に示すことに努めた。

結論・考察

1) にかほ地域の活構造

仁賀保衝上断層帯の最も西側の1~2条は完新世にも活動している。この断層は、背後の仁賀保丘陵を作る fault propagation fold の屈曲部（軸面）に、30~40万年前頃に新たに派生したと考えられる東傾斜の断層である。にかほ市北方の海岸沿いに完新世の段丘が発達することから、本断層はこれまで海上物理探査によって解釈されている由利本荘市沖の東傾斜断層に連続すると考えられ、全長は30km以上である。上盤側の完新世の段丘面（沖積低地高位面）の高度から求めた平均鉛直変位速度は1.3~1.7 mm/yr以上である。

仁賀保衝上断層帯の西方に並走する小滝断層帯（西傾斜）は全長約23kmで、本断層帯の活動が、にかほ地域西部の地形の概形や地層の褶曲構造（fault propagation fold）を形成してきたと考えられる。小滝断層帯の北半部には東側隆起の大竹断層が存在する。この大竹断層付近では地質構造に顕著な変形が見られないことなどから、大竹断層は、西傾斜の小滝断層の上盤に副次的に形成された断層であると考えられる。

地質構造を利用したバランス断面法による解析から、仁賀保衝上断層は2つのランプを有する東傾斜断層であり、小滝断層は地下7,000m付近のデタッチメントから立ち上がる西傾斜断層であると解釈され、両断層は独立した断層ブロックを形成していると理解される。

2) 庄内地域の活構造

酒田衝上断層帯は上盤に fault propagation fold を形成してきており、段丘面の平均鉛直変位速度と、バランス断面から求められる断層関連褶曲の背斜軸付近の鉛直変位量から、その活動開始時期は、約240~100万年前頃であると考えられる。

酒田衝上断層帯の西方に並走する前縁断層帯は、北部は約35万年前頃から、南部は約13万年前頃から活層を開始したと求められ、その上盤に、一部に wedge thrust を伴う detachment fold を形成してきたと考えられる。

鳥海山南西麓付近においては、火山麓扇状地の末端付近が pop up 状に隆起して断続的に小丘陵が形成されている。この付近の断層群は、少なくとも30万年前頃までには活動を始めたと考えられる。

庄内地域北部における変形層の厚さは1,500m~3,000mであるのに対して、南部では急に厚くなり5,000m以上である。地殻短縮量、断層成長量、断層上盤の鉛直変位量等も南部で大きい。

3) 活構造の相違に基づく起震断層の認定と歴史地震との対応

にかほ地域と庄内地域との間には構造上の顕著な不連続があり、両地域にわたって断層活動は連動しない（それぞれ独立して地震を発生させる）と考えられる。また、にかほ地域の仁賀保衝上断層帯と小滝断層帯は別なブロックとして活動し、断層活動は連動しないと考えられる。

庄内地域では、最上川-相沢川付近を境に南北で構造上の不連続がある。しかし、同じ断層関連褶曲のタイプ（酒田衝上断層帯は fault propagation fold, 前縁断層帯は detachment fold）が南北にわたって連続しており、また、酒田衝上断層帯と前縁断層帯は thrust front migration の一連の系をなし、両断層帯は地下の比較的浅い部分で連続していると考えられる。したがって、庄内地域の断層帯（一括して庄内東部断層帯と呼称）は全域にわたって連動して同時に活動する場合もあり得ると考えられる。

以上から、調査地域には、仁賀保衝上断層帯、小滝断層帯、庄内東部断層帯の3条の起震断層帯が存在すると判断される。このうち庄内東部断層帯は、南北2つのセグメントに区分される。1804年象潟地震は小滝断層帯の、1894年庄内地震は庄内東部断層帯北セグメントの活動に起因する可能性がある。一方、仁賀保衝上断層帯、および庄内東部断層帯南セグメントに対応するような歴史地震は知られていない。すなわち両者は「地震空白域」であると指摘することができ、それぞれマグニチュード7.3以上、6.9の地震を発生させるポテンシャルがある。

本研究で取り上げた北由利衝上断層系の南半においては、引張場において先第三系基盤に形成されていた正断層が、鮮新世以降の圧縮場において逆断層として再活動することによって先第三系基盤がリフト堆積物を圧縮し、リフト堆積物中に派生した逆断層の上盤に断層関連褶曲を発達させたと考えられる。にかほ地域では、先第三系基盤とリフト堆積物との境界にデタッチメントが形成されており、庄内地域では、リフト堆積物のうち中新世中期の海底火山噴出物である玄武岩溶岩層とその上位の泥岩層との境界にデタッチメントが形成されている。さらに、庄内地域の北部と南部とでは、先第三系基盤の深度が異なっており、南部の方がより深い。これらのことから、にかほ地域と庄内地域で活構造の諸特徴に違いがあるのは、引張場にあったときの正断層の形態の違いとそれによる基盤（先第三系）の形態の違い、および、リフト堆積物の geology の違いによるものと判断される。すなわち、鮮新世初期に圧縮場に転じてからどのような変形構造や逆断層システムが発達してゆくかは、それ以前の引張テクトニクスの下で形成されていた正断層システムとそれに影響を受けて発達した geology に強く規制されているといえる。

論文審査の結果の要旨

日本海沿岸地域では、被害を伴う歴史地震が数多く知られている。しかし、特に羽越褶曲帯から北部フォッサマグナに至る、いわゆるひずみ集中帯とよばれるこの地域は、鮮新世から第四紀における固結度の弱い厚い堆積層に覆われることなどから、伏在断層の上盤に活褶曲が発達するいわゆる褶曲-衝上断層帯をなしており、地表や地層の変形と地下の断層との関係が必ずしもよく分かっていない。

佐々木亮道論文は、この羽越褶曲帯の東部にあたり、出羽丘陵西縁を南北約200 kmにも及ぶ北由利衝上断層系のうち、その中核をなす仁賀保衝上断層帯と酒田衝上断層帯を対象として、両断層帯の活断層分布、断層関連褶曲の発達様式、断層上盤の背斜軸付近の鉛直変位速度等を地形・地質調査から明らかにし、構造発達をバランス断面に基づいて解析した。その結果、いくつかの起震断層（想定震源）を設定して、歴史地震との対応を検討した。

仁賀保衝上断層帯の最も西側の活断層は、海域部も含めると全長約30 kmで、完新世にも活動し、その変位速度は1.3~1.7 mm/千年以上であること、仁賀保丘陵を作る *fault propagation fold* の屈曲部（軸面）に、30~40 万年前頃に新たに派生した東傾斜の逆断層であること等を明らかにした。また、この断層の西側に並走する小滝断層は、全長約23 kmの西傾斜の逆断層で、2つが独立した別起震断層であることをバランス断面解析から明らかにした。

一方、酒田衝上断層帯は丘陵基部の断層とその西方に並走する断層に分かれ、前者では *fault propagation fold* を形成するが、後者では *wedge thrust* を伴う *detachment fold* であることより、別起震断層として区別され、それぞれの活動開始時期が異なることも明らかにされた。このように、鮮新世以降の圧縮場における出羽丘陵西縁付近での逆断層システムと褶曲構造の発達、それらと地表変形や地震との関係についての全体像を明らかにした。

このことは、著者が自立して研究活動を行うのに必要な高度な研究能力と学識を有することを示している。したがって佐々木亮道提出の博士論文は、博士（理学）の学位論文として合格と認める。