

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：15301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K21665

研究課題名（和文）外的条件の変化による活断層の活動性への影響

研究課題名（英文）Effects of changes in external conditions on the activity of active faults

研究代表者

松多 信尚（Matsuta, Nobuhisa）

岡山大学・教育学域・教授

研究者番号：40578697

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：活断層の活動性は地球内部の営力によって支配され外的環境の影響は受けないと考えられている。しかし、2011年に発生した東北地方太平洋沖地震によって上部地殻にかかる応力の絶対値は大きくないことが指摘された。このことは、気候変動による海面の上昇や陸上氷河の増減といった地殻にかかる荷重の変化が活断層の活動性に影響を与える可能性を提起する。本研究はそれを明らかにすることを目的とし、環境変化に応答する花粉や珪藻といった微化石分析から氷期における活断層の活動度を明らかにすることを試みた。しかし、メタンガスの噴出事故、コロナ渦、珪藻の検出量、花粉分析の精度などが原因で、期待した成果が得られなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は活断層の活動による内陸直下型地震の発生間隔や地震の規模が気候変動によって変化する可能性を見出すことを目的としてきた。当初の目的を果たすことができなかったが、失敗が確定したわけではない。今回の成果を糧に、活断層が一定の時間間隔で固有の規模の地震を発生させるのではなく、現在の気候環境において危険度の高い活断層を指摘したり、過去の寒冷な時期での活断層の活動度と現在と同じような環境になった完新世における活断層の活動度との比較から上部地殻にかかる応力の変化を予測し、地域における活断層システムの全容解明と温暖化などによる気候変動が活断層の活動度に与える影響などが推定できる可能性がある。

研究成果の概要（英文）：It is believed that the activity of active faults is caused by forces inside the earth and is not affected by environmental changes. However, the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake pointed out that the absolute stress on the upper crust is not large. This raises the possibility that changes in loads on the crust, such as sea level rise and glacier increase/decrease due to climate change, may affect the activity of active faults. This study aimed to clarify this, and attempted to determine the degree of activity of active faults during the glacial period by analyzing microfossils such as pollen and diatoms that respond to environmental changes. However, the expected results were not obtained due to the methane gas blowout accident, coronal vortex, the amount of diatoms detected, and the accuracy of the pollen analysis.

研究分野：自然地理学

キーワード：気候変動 活断層の活動度 氷河の荷重 花粉分析 糸魚川 静岡構造線 神城断層 珪藻分析

1. 研究開始当初の背景

2014年長野県北部の地震(神城断層地震)は阪神淡路大震災を受けて国が定めた主要活断層で地表地震断層が出現した初めての地震であった。この地震の特徴は地表地震断層と従来から指摘してきた活断層とはほぼ一致している。発生した地震は想定されていたものよりは一回り小さい。地表地震断層のずれ量は想定されていたものより小さい。今回の地震の発生間隔は想定されていたものより短く、過去3回の地震の発生間隔は一定ではない。地震による地殻のすべりベクトルが一定ではない。といった知見が得られた。また、測地測量や反射法地震断層によって明らかにされている構造地質では低角度な傾斜を持つ逆断層と考えられるのに対して、今回の地震の余震分布や地震時の地殻変動は高角度な傾斜の逆断層の活動を示す。その理由として、この断層が少なくとも2種類の地震が浅部では同一の断層面を利用していることが考えられ、その断層面は摩擦係数の低く活用されやすい可能性がある。

一方で、活断層による内陸地震は周辺の地殻に蓄積したひずみを解消するのではなく再分配するだけである。活断層による内陸直下型地震の発生はプレート運動によって刻々と蓄積される広域的なひずみと局所的に残留しているローカルなひずみによって支配され、内陸活断層の活動によるローカルなひずみの再分配がローカルなひずみの分布を変化させ、次の活断層の活動による地震を発生させると考えられる。Yoshida et al. (2012) は2011年東北地方太平洋沖地震の余震活動から地殻にかかる絶対応力が小さいことを指摘した。わずかな応力変化が地震活動に影響を与える可能性があるならば、山岳氷河などの消長によってその周辺で発生するわずかな応力場の変化が地震の活動性に影響を与える可能性があり、摩擦係数の小さい断層面はその変化に敏感に反応するはずである。

2014年長野県北部の地震が発生した神城地域は氷期において古神城湖と呼ばれる浅い湿地が存在した。この湖は神城断層の活動で低下する側の盆地に、北アルプス側に発達した氷河によって生産された大量な土砂による扇状地が堆積し、姫川がせき止められることで生じた湖である。松多ほか(2001)によると、神城断層の下盤側で実施したボーリング掘削調査の結果、深度55m付近に約3万年前の火山灰であるAT火山灰が狭在し、それより上位で厚さ1mm程度の細かい互層が確認できた。この互層が年縞だとすれば、微化石分析から下盤側の環境変化も年単位で復元できるはずである。神城断層の分布から、神城断層が活動すると姫川の流路がせき止められ湖の深度が深くなり、湖域も広くなることが予想される。そこで、活断層運動による湖水準変化の影響を強く受け、粗い堆積物が堆積しにくい場所を発達史地形学的に見出し、ボーリング掘削をし、微化石分析をおこなえば、地震活動が推定でき、本地域では過去数万年の年ごとの地層が確認でき、地震の長期評価で拠って立つ固有地震説の検証、活断層の活動度と気候変化との関係、わずかな応力変化が活断層に及ぼす影響が明らかとなる。これは活断層の活動度、平均変位速度といった長期評価手法の検討や、内陸の活断層間の相互依存の関係からの新たな長・中期評価手法の構築に寄与する研究と思われる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、わずかな応力変化が活断層の活動度に与える影響を検証しようとするもので、これにより従来の経験則に基づく活断層の長期予測の枠組みを時間変化する応力変化により蓄積されるひずみの変化から発生する地震を予測するという、予測の高度化につながることを期待される。そのために、本研究では局所的な応力場に影響を与える現象として、氷期における氷河の荷重に着目し、それが局所的な応力場に与える影響とそれによる活断層の活動度の変化を断層運動によって変化する環境を微化石分析から復元することで求めることを目的とする。

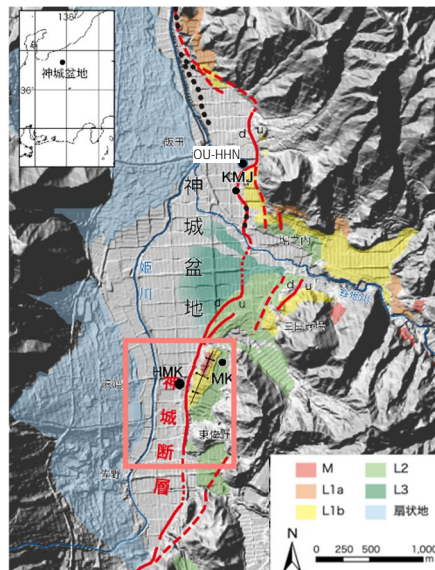
3. 研究の方法

本研究を遂行するために必要な条件は、時間分解能の良い指標、氷河の消長の復元、地震イベントの認定の三点である。以下の理由から長野県白馬村神城地域が調査地として適当と考えている。時間分解能の良い指標として、申請者は湖成堆積物年縞を利用したい。年縞とは、生物による攪乱がなく一年の季節によって堆積物が異なる条件下で生じる年輪のような縞々模様のことであり、水月湖が世界的に有名である。水月湖ではこの年縞を用いることで約7万年間の気候変遷を明らかにし、世界の指標となっている。このような年縞は氷期に湖が存在した神城地域の堆積物にもみられる。この湖成堆積物を用いて時間分解能を高める。氷河は涵養量と消耗量の差によって消長するため気温が低い時に成長するわけではない。白馬地域に氷期に山岳氷河が広く存在していたことは古くから知られているが最も氷河が大きくなるのは日本海に對馬海流が入り日本海の水温が高くなり蒸発量が増える後氷期に向かうところである。このような古環境の変化は堆積物中の花粉の分析から推定できる。地震イベントの認定は神城地域の湖の湖面上昇による環境変化から読み取る。この湖が存在した時代、湖の水が排水する場所を断層が横断しているため、断層運動によってせき止めが起こり湖面の高さが急激に高くなる。その結果、水深が深くなり卓越する珪藻の種類が変化する。特に湖に流入する小河川の河口では三角州が形成され、湖面の上昇により大きな環境変化が生ずる。下盤側である神城盆地でのボーリング掘削結果から、AT火山灰が深度53m付近で観察され(松多ほか,2001)、解像度の高いデータと考えら

れる．本研究はこのような環境変化に着目して地震活動を読み取る．

4．研究成果

掘削地点は長野県北安曇野郡白馬村神城三日市場に選定した．その選定理由は，神城盆地の東縁は谷地川の扇状地または三角州が広がっていたと思われる，礫質な地層が分布すると考えられる．谷地川以外の小河川も神城盆地東縁で比較的粗い堆積物を堆積していたと考えられる．東佐野にある谷からも粗い堆積物が出ていると考えられるが，L1b 面はすでに離水していたと考えられるので，HMK 付近は扇状地性の堆積物は堆積せずに細粒な堆積物が分布していると考えられた．



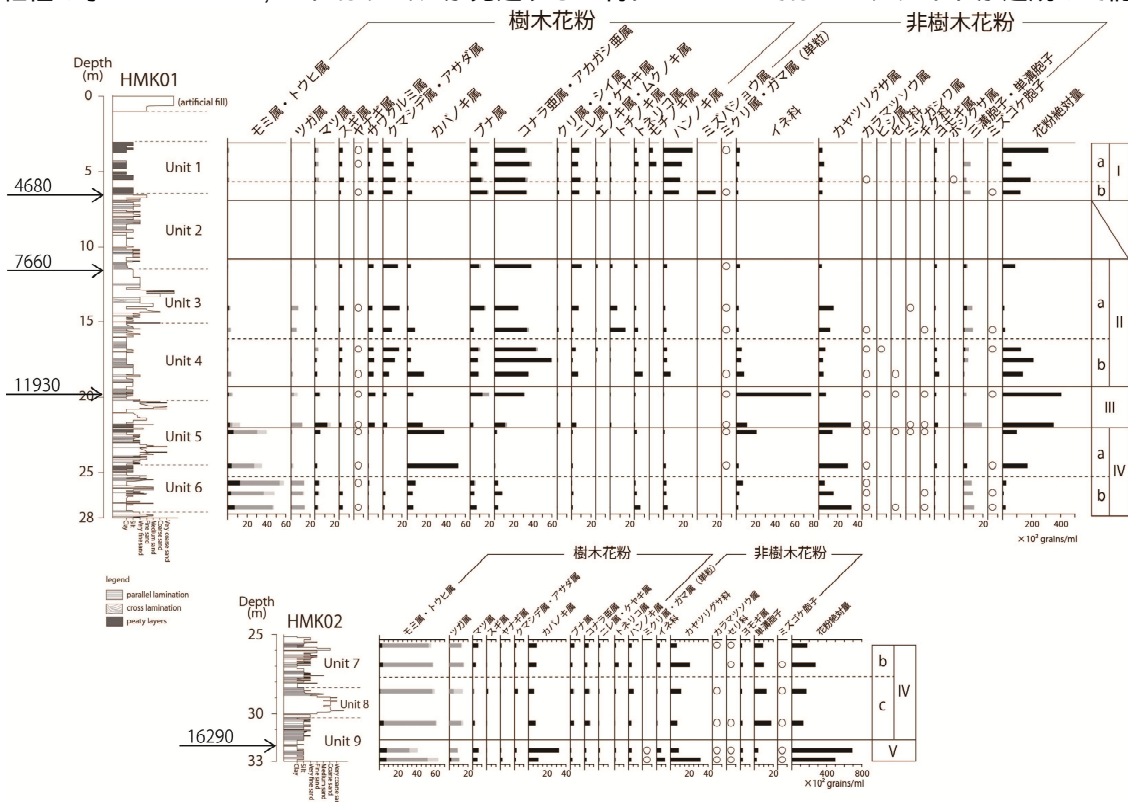
掘削方法は年縞を正確に採取するためには，同地点で最低 3 本の掘削調査を実施する必要があることが分かり，試料はその場での観察をする必要があることが分かり，予算的に難しかったため断念した．ボーリング掘削調査は，2021 年 1 月に 60m を予定して掘り進んだが，28m まで掘削した段階でメタンガスが噴き出し，何度か掘削を試みたが，雪に閉ざされた作業場の安全性を考慮して断念した．雪解けを待ち，横で新しい孔を掘削したが深度 33m で再びメタンガスが噴き出し，地中に大きな空洞が生じ，大規模な処置を必要としたため断念した．これらのボーリングコアを HMK01 および HMK02 と称した．

HMK01 は深度 0 ~ 28m，HMK02 は深度 25 ~ 33m である．これらはコアを半割し層相の観察と記載を行ったのち，XRF コアスキャナによる元素濃度分析を行った．もう一方のコアから約 10cm 間隔を基本として採取した試料を用いて花粉分析，および珪藻分析を行い，最終氷期最寒冷期以降の古環境を推定した．しかし，珪藻は有効な数の試料を採取できなかった．花粉の計数は木本花粉を 300 個以上になるまで行い，花粉分類群ごとの出現率を算出した．

HMK01 および 02 は，いずれも粘土～砂質シルトが大部分を占め，ラミナがよく発達する．腐植層は相対的に少ない．堆積物の層相や粒度の特徴に基づき，ボーリングコアを複数のユニットに区分した．

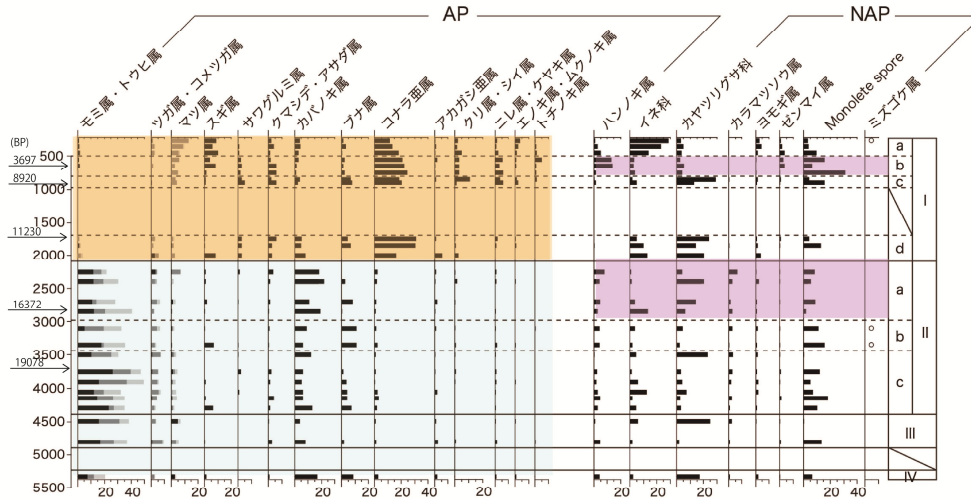
HMK01: 下位より Unit 6 ~ 1 に区分した．Unit 5, 3 は粒径が相対的に大きい傾向にある．Unit 6 ~ 5 では，カバノキ属 *Betula* が高率で出現し，モミ属 *Abies*，トウヒ属 *Picea* がそれに次ぐ．これらの分類群は Unit 5 ~ 4 にかけて急激に減少することから，この時期に急激に温暖化し，それと同期的に堆積環境が変化したと推定される．同時に，この時期にイネ科の花粉が急激に非常に多くなる．このような環境の変化はヤングドライアス期後の温暖化を示す可能性がある．上部の Unit 1 は厚い腐植層で，ミズバショウ属 *Lysichiton* が極めて高率で出現する．Unit 1 堆積時以降はこの地点に湿原が存在していた可能性が高い．

HMK02: 下位より Unit 9 ~ 7 に区分した．Unit 8 は相対的に粒径が大きい傾向にある．また，粒径の小さい Unit 9, 7 にはラミナが発達する．特に Unit 9 ではビビアナイトが連続して認



められることから、この時期は比較的静穏で水深があることで貧酸素状態が湖底付近にもたらされた堆積環境下にあったと推定できる。Unit 9 から 8 にかけて粗い堆積物が堆積するイベントがあり、Unit 7 にかけて再び穏やかな環境に変化したと考えられる。

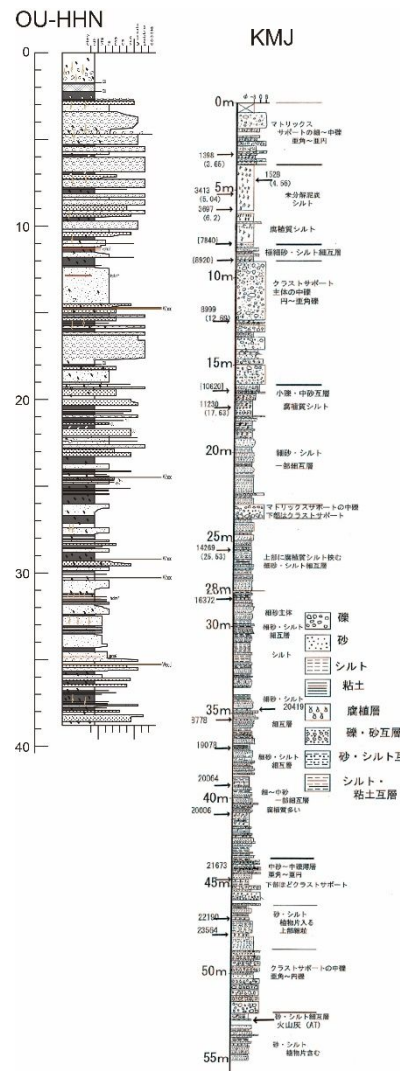
また、松多ほか(2001)の試料 (KMJ) を用いて花粉分析を行い、AT 降下以降の最終氷期最寒冷期を含む時代の古植生変遷を推定した。最下部～深度約 20m 付近までは、モミ属、トウヒ属、ツガ属がマツ属(五葉松タイプ)を伴いながら高率で出現する。落葉広葉樹は、カバノキ属が比較的高率で出現する。ブナ属は断続的に高率を示す。深度約 20m 付近で亜寒帯針葉樹花粉が急減し、これ以降回復しない。同時期に急増したコナラ亜属は、その後も高い出現率を維持する。深度 20m 付近の層準で急激に温暖化したと推定される。



残された予算で、新たにボーリング掘削を行った。掘削場所は KMJ 付近で湖成段丘によって谷地川影響が少ない OU-HHN とした。KMJ との標高差は約 3m である。予想ではより細粒な堆積物が分布すると考えたが、実際は比較的粗粒な堆積物が多い。花粉分析や珪藻分析は実施できておらず、今後の課題である。

検出される花粉の変化から古環境の復元は少し明らかになったが、当初予定していた微化石分析による地震イベントの認定には至らず失敗に終わった。

しかし、古環境復元には良好なデータが得られ、他地域との比較を行うことで、後氷期における北アルプスの古環境復元につながる可能性がある結果が得られた。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 竹本 仁美, 松多 信尚, 佐藤 善輝, 廣内 大助
2. 発表標題 長野県神城断層近傍における最終氷期以降の堆積環境の復元
3. 学会等名 日本地理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takeshi Sagiya, Koki Kumagai, Angela Meneses-Gutierrez, Nobuhisa Matsuta, Daisuke Hirouchi, Kenjiro Matsuhira, Takashi OKUDA
2. 発表標題 Persistent and time-dependent crustal deformation in northern Fossa Magna and its tectonic implications
3. 学会等名 地球惑星科学連合（幕張メッセ）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹本 仁美, 松多 信尚
2. 発表標題 長野県神城盆地におけるAT火山灰降下以降の古環境復元
3. 学会等名 第四紀学会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	廣内 大助 (Hirouchi Daisuke) (50424916)	信州大学・学術研究院教育学系・教授 (13601)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	杉戸 信彦 (Sugito Nobuhiko) (50437076)	法政大学・人間環境学部・教授 (32675)	
研究分担者	佐藤 善輝 (Sato Yoshiki) (60751071)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・研究員 (82626)	
研究分担者	石山 達也 (Ishiyama Tatsuya) (90356452)	東京大学・地震研究所・准教授 (12601)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	下村 仁美 (Shimomura Hitomi)	有明工業高等専門学校・一般教育科・助教 (57102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関