

平成 30 年 6 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：2015～2017

課題番号：15K01248

研究課題名(和文)活断層破砕帯の特性と断層活動性との関係の解明

研究課題名(英文)Evaluation on the structural features of active fault damage zone and activity of faults.

研究代表者

林 愛明(Lin, Aiming)

京都大学・理学研究科・教授

研究者番号：90283861

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、野島断層・有馬一高槻構造線活断層系の活動性と断層破砕帯構造について野外調査と微細構造の解析を行った。その結果、1)断層破砕帯物質が地震時の断層摩擦熱による熱圧化と流体化作用によりネットワーク状の脈状断層岩が形成されること、2)両活断層破砕帯の岩盤が粉状に破砕されたこと、3)野島断層の大地震の再来周期は約900~1000年であること、4)有馬一高槻構造線活断層帯については、1596年慶長一伏見地震断層は有馬温泉周辺域までに現れた可能性が高いことなどが、明らかになった。また、2016年M7.3熊本地震の現地により地表地震断層が既存の活断層沿いにあわられたことが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：Based on field investigations and meso- and microstructural analyses of fault zones of the active Nojima Fault and Arima-Takatsuki Tectonic Line active fault system, the following results have been obtained:
1) the vein networks of pseudotachylyte with both melt and crush origins, as well as ultracataclastic rocks formed by rapid injection of ultrafine- to fine-grained material are sourced from pulverized ultracataclastic rocks in seismogenic fault zones under thermal pressurization and fluidization during seismic faulting; 2) the fault damage zones of both faults have been strongly pulverized; 3) the recurrence interval of large earthquakes in the Nojima Fault is inferred to be = 900~1000 years that are shorter than that previously reported; 4) the 1596 Keicho-Fushimi earthquake probably ruptured the western segment around the Arima-Spring. Field investigations also demonstrated that the Mw 7.1 2016 Kumamoto earthquake ruptures the preexisting active faults.

研究分野：地震地質学

キーワード：活断層 断層破砕帯 地震断層 脈状断層岩 断層摩擦熱 流体化作用 震源断層 断層物性

1. 研究開始当初の背景

プレート内部の大地震のほとんどは既存の活断層が繰り返し動いて発生する。したがって、大地震がどのような機構で同じ断層帯で繰り返し発生するのかを明らかにするためには、大地震の震源となる活断層の活動性・破砕帯の構造特性の理解が必要となる。最近、活断層破砕帯は、原子力発電所の敷地の地震安全性評価や断層活動性の判断などに関連して社会的に大きく取り上げられており、国内・国外で注目されている。

2. 研究の目的

活断層における破砕帯のマクロとミクロ組織構造と活動年代との関係及びそれに関連した震源断層岩の物性を調べ、活断層破砕帯の構造特性と断層の活動性との関連性を解明することと、活断層破砕帯による地震ハザードの評価と原子力発電所のような重要施設の敷地の地震安全性評価などに科学的な根拠を提供することである。

3. 研究の方法

(1) 活断層破砕帯の調査のターゲットとして、横ずれ断層である有馬一高槻構造線六甲断層、1995年兵庫県南部地震の震源断層である野島断層および花折断層の野外調査を行い、断層構造と断層地形及び断層破砕帯の組織構造を解析するため、基盤岩断層破砕帯のトレンチ掘削調査を行った。

(2) 断層破砕帯における割れ目に充填した炭酸塩脈と主断層面に発達した断層ガウジの組織構造を観察して、定方位サンプルを採集した。

(3) 採集した定方位のサンプルの大型研磨面の作成を行った。

(4) 異色の層状断層ガウジの層を分離して、それぞれの色層に対して化学組成の分析・粉末X線解析用のサンプル分離を行った。

(5) 比較するため、2008年発生した中国四川大地震の震源断層である龍門山断層帯のボーリングコアから、炭酸塩脈のサンプルを採集して、分析した。

(6) 一部の断層ガウジのマイクロX線CTスキャンを行って、断層破砕帯の内部構造を明らかにした。

(7) 野島断層破砕帯の断層ガウジに対して、微量元素分析を行った。

(8) 本研究に関連した研究成果をまとめて、論文を国際学術雑誌に公表した。

4. 研究成果

(1) 断層破砕帯物質が地震時の断層摩擦熱による熱圧化と流体化作用によりネットワーク状の脈状断層岩が形成されること。

(2) 野島断層については、断層破砕帯の岩盤が粉状に破砕されたこと。

(3) その変位速度は、約2mm/年に達することと、大地震の再来周期は約900~1000年であること。

(4) 有馬一高槻構造線活断層帯については、1596年慶長一伏見地震により断層帯の西側の有馬温泉周辺域までに地表地震断層が現れた可能性が高いことなどが、明らかになった。

(5) 本研究期間中に発生した2016年熊本地震の現地調査により、約40km長い地表地震断層が既存の活断層沿いに現れたことが明らかになった。

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16件)

(1) Aiming Lin, Peng Chen, Takako Satsukawa, Koichiro Sado, Nobukazu Takahashi, and Soichiro Hirata, 2017. Millennium recurrence interval of morphogenic earthquakes on the seismogenic fault zone that triggered the 2016 M_w 7.1 Kumamoto earthquake, southwest Japan. *Bulletin of Seismological Society of America*, 107, 2687-2702. DOI:10.1785/0120170149

(2) Maomao Wang and Aiming Lin(*corresponding author), 2017. Active thrusting of the Longquan Fault in the central Sichuan basin, China and the seismotectonic behavior in the Longmen Shan fold-and-thrust belt. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 122, 5639-5662, DOI:10.1002/2016JB013391

(3) Aiming Lin, and Tatsuro Chiba, 2017. Coseismic conjugate faulting structures produced by the 2016 M_w 7.1 Kumamoto earthquake, Japan. *Journal of Structural Geology*, 99, 20-30, Open access, DOI:10.1016/j.jsg.2017.05.003

(4) Aiming Lin 2017. Structural features and seismotectonic implications of coseismic surface ruptures produced by the 2016 M_w 7.1 Kumamoto earthquake. *Journal of Seismology*, 21, 1079-1100, Open access, DOI: 10.1007/s10950-017-9653-5

(5) Aiming Lin and Maomao Wang, 2017. Great Earthquakes and the fall of the Sanxingdui and Jinsha civilizations in central China. *Geoarchaeology*, 2017;32:479-493. DOI:10.1002/gea.21624

(6) Gang Rao, Yali Cheng, Yangli Yu, Bing Yan, and Aiming Lin, 2017. Tectonic characteristics of the Lishan Piedmont Fault in the SE Weihe Graben (central China), as revealed by the

geomorphological and structural analyses. *Geomorphology*, 282, 52-63, Open access. DOI:10.1016/j.geomorph.2017.01.014

(7) Bing Yan and Aiming Lin (*corresponding author), 2017. Holocene activity and paleoseismicity of the Selaha Fault, southeastern segment of the strike-slip Xianshuihe Fault Zone, Tibetan Plateau. *Tectonophysics*, 694, 302-318, DOI:10.1016/j.tecto.2016.11.014.

(8) Aiming Lin, Peng Chen, Takako Satsukawa, Koichiro Sado, Nobukazu Takahashi, and Soichiro Hirata, 2017. Millennium recurrence interval of morphogenic earthquakes on the seismogenic fault zone that triggered the 2016 M_w 7.1 Kumamoto earthquake, SW Japan. *Bulletin of Seismological Society of America*, 107, 2687-2702, DOI: 10.1785/0120170149

(9) Yali Cheng, Chuanqi He, Gang Rao, Bing Yan, Aiming Lin, Jianmin Hu, Yangli Yu, and Qi Yao, 2017. Geomorphological and structural characterization 1 of the southern Weihe Graben, central China: Implications for the segmentation and basinward migration of normal faulting. *Tectonophysics*, 722, 11-24.

(10) Aiming Lin, 2017. Thermal pressurization and fluidization of pulverized cataclastic rocks formed in seismogenic fault zones. *Journal of Structural Geology*, in press. DOI: 10.1016/j.jsg.2017.12.010.

(11) Aiming Lin, Mikako Sano, Maomao Wang, Bing Yan, Di Bian, Ryoji Fueta, and Takashi Hosoya, 2016. Palaeoseismic study of the Kamishiro Fault on the northern segment of the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line, Japan. *Journal of Seismology*, DOI 10.1007/s0950-016-9629-x

(12) Haibing Li, Jiawei Pan, Aiming Lin (*corresponding author), Zhiming Sun, Dongliang Liu, Jiajia Zhang, Chenglong Li, Kang Liu, Marie-Luce Chevalier, Kun Yun, Zheng Gong, 2016. Co-seismic surface ruptures associated with the 2014 M_w 6.9 Yutian earthquake on the Altyn Tagh Fault, Tibetan Plateau. *Bulletin of Seismological Society of America*, 106, 595-608, DOI:10.1785/0120150136

(13) Aiming Lin, Takako Satsukawa, Maomao Wang, Zahra. Mohammadi Asl, Ryoji Fueta,

Fumiki Nakajima, 2016. Coseismic rupturing stopped by Aso volcano during the 2016 M_w 7.1

Kumamoto earthquake, Japan. *Science*, 354, 869-875. DOI:10.1126/science.aah4629

(14) Aiming Lin, Mikako Sano, Bing Yan, and Maomao Wang, 2015. Co-seismic surface ruptures produced by the 2014 M_w 6.2 Nagano earthquake, along the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line, central Japan. *Tectonophysics*, 656, 142-153. DOI:10.1016/j.tecto.2015.06.018

(15) Shangzhong Li, Jianmin Hu, Guang Zhu, Aiming Lin, 2015. Active tectonics and meso-cenozonic intraplate deformation in North China Block: Preface, *Journal of Asian Earth Sciences*, 114, 1-4 DOI:10.1016/j.jaeas.2015.11.003

(16) Aiming Lin, Gang Rao, and Bing Yan, 2015. Millennium recurrence interval of morphogenic earthquakes on the Qingchuan fault, northeastern segment of the Longmen Shan Thrust Belt, China. *Journal of Seismology*, 20, 535-553, DOI: 10.1007/s0950-015-9542-8

[学会発表] (計42件)

(1) Aiming Lin, 2017. 4-Demention (4D) analyses of active fault zones: meso-microstructural features and dating cataclastic rocks. 2017 AGU Fall Meeting, 11 Dec, 2017, San Francisco, USA.

(2) Aiming Lin, 2017. Repeated coseismic injection of pulverized fault rocks and infiltration of fluids including meteoric and sea-waters within fault damage zones. [SGL35-06]. 2017年地球惑星合同学会, 5月25日, 幕張メッセ. 招待講演

(3) 林 愛明、佐津川貴子、佐渡耕一郎、高橋信一、平田壮一郎, 2017. 2016年 M_w 7.1熊本地震を引き起こした布田川—日奈久断層帯における大地震の再来周期について. 2017年地球惑星合同学会, 5月23日, 幕張メッセ

(4) 三浦知督、長谷部徳子、雁澤好博、田上高広、林愛明、野島断層トレンチ破碎部の石英ルミネッセンス測定. 2017年地球惑星合同学会, 5月25日, 幕張メッセ.

(5) Noriko Hasebe, Miura Kazumasa, Tomokatsu, Yoshihiro Ganzawa, Takahiro Tagami and Aiming Lin, 2017. Thermoluminescence of quartz collected from Nojima Fault Trench excavated in 2015,

2017 AGU Fall Meeting, 16 Dec, 2016, San Francisco, USA.

(6) Bing Yan and Aiming Lin, 2017. Late Pleistocene-Holocene Activity of the Strike-slip Xianshuihe Fault Zone, Tibetan Plateau, Inferred from Tectonic Landforms. 2017 AGU Fall Meeting, 16 Dec, 2016, San Francisco, USA.

(7) Peng Chen and Aiming Lin, 2017. Late Pleistocene Activity and deformation features of the North Margin Fault of West Qinling Mountains, northeastern Tibet. 2017 AGU Fall Meeting, 16 Dec, 2016, San Francisco, USA.

(8) Takafumi Nishiweaki and Aiming Lin, 2017. Fracture structures of active Nojima fault, Japan, revealed by borehole televiewer imaging. 2017 AGU Fall Meeting, 16 Dec, 2016, San Francisco, USA.

(9) Shougo Yano, Tameto Lin, Tatsuhiro Sugimoto, and Aiming Lin, 2017. In-situ stress measurements using core-based methods in the vicinity of Nojima fault. 2017 AGU Fall Meeting, 16 Dec, 2016, San Francisco, USA.

(10) Evangelos Tsakalos, Aiming Lin, Yannis Bassiakos, Maria Kazantzaki, Eleni Filippaki, 2017. Seismic Moment and Recurrence using Luminescence Dating Techniques: Characterizing brittle fault zone materials suitable for luminescence dating. 2017 AGU Fall Meeting, 16 Dec, 2016, San Francisco, USA.

(11) Aiming Lin, Maomao Wang, Mikako Sano, Di Bian, Ryoji Fueta, Takashi Hosoya, 2016. Paleoseismic study on the Kamishiro Fault, the northern segment of the Itai-gawa-Shizuoka Tectonic Line, Japan. 2016 年地球惑星合同学会, 5月24日, 幕張メッセ.

(12) Aiming Lin, Haibing Li, Zhiming Sun and ATF Research Group, 2016. Co-seismic conjugate Riedel faulting associated with the 2014 M_w 6.9 Yutian earthquake on the Altyn Tagh Fault, Tibetan Plateau. 2016 年地球惑星合同学会, 5月24日, 幕張メッセ.

(13) Takako Satsukawa and Aiming Lin, 2016. Formation of pseudotachylite in the lower crust plastic regimes: Evidence from the Woodroffe thrust, central Australia. 2016 年地球惑星合同学会, 5月24日, 幕張メ

ッセ.

(14) 佐野実可子・林 愛明, 2016. 糸魚川-静岡構造線活断層系南部セグメント周辺の変動地形. 2016 年地球惑星合同学会, 5月24日, 幕張メッセ.

(15) Lin Aiming, 2016. Structural features of seismogenic fault triggered the 2016 M_w 7.1 Kumamoto earthquake. Institute of Geomechanics, Geological Academy of China. 23 June 2016. (invited speaker, 招待講演)

(16) 林 愛明・佐津川貴子・Zahra Mohammadi Asl・笛田凌史・王毛毛・中島史樹, 2016. 2016 年 M_w 7.1 熊本地震により複数本の活断層沿いに出現した地表地震断層の構造特徴. 2016 年地球惑星合同学会, 5月25日, 幕張メッセ.

(17) Lin Aiming, 2016. A new fault dating project on the Nojima and Arima-Takatsuki active fault zones-opportunities for integrated geo- and thermochronology studies. Goldschmidt Meeting, Yokohama, Japan, 26 June 2016. (invited speaker, 招待講演)

(18) 林 愛明, 活断層破砕帯の掘削と断層岩構造解析・断層年代測定による断層活動性の評価手法の構築. 日本地質学会 123 年学術大会 (2016 東京・桜上水大会), 2016 年9月11日.

(19) 佐津川貴子・林 愛明, 野島断層および有馬-高槻構造線活断層破砕帯における断層岩の微細構造発達過程. 日本地質学会 123 年学術大会 (2016 東京・桜上水大会), 2016 年9月11日.

(20) 三浦知督・長谷部徳子・雁澤好博・田上高広・林愛明, 2016. 野島断層 2015 年小倉破砕帯から得られた石英のルミネセンスの特性. 日本地質学会 123 年学術大会 (2016 東京・桜上水大会), 2016 年9月11日.

(21) 林 愛明・佐津川貴子, 2016 年 M_w 7.1 熊本地震に伴って出現した地表地震断層の構造特徴. 2016 年日本地震学会年会, 名古屋. 2016 年10月11日.

(22) Aiming Lin, 2016. Comprehensive assessment on recent activity of active fault damage zone: examples from the active faults in central Japan. 2016 AGU Fall Meeting, 16 Dec, 2016, San Francisco, USA.

(23) Zahra Mohammadi Asl, Aiming Lin, Takako Satsukawa and Ryoushi Fueta, 2016. Timing and acceleration of a

landslide failure caused by the 2016 Mw 7.1 Kumamoto Earthquake. 2016 AGU Fall Meeting, 16 Dec., 2016, San Francisco, USA.

(24) Takako Satsukawa and Aiming Lin, 2016. Structural analysis of cataclastic rock of active fault damage zones: An example from Nojima and Arima-Takatsuki fault zones (SW Japan). 2016 AGU Fall Meeting, 15 Dec., 2016, San Francisco, USA.

(25) Maomao Wang and Aiming Lin, 2016. Active thrusting and seismic hazard of the Longquan Fault in the central Sichuan basin, China. 2016 AGU Fall Meeting, 16 Dec, 2016, San Francisco, USA.

(26) Gang Rao, Yali Cheng, Chuanqi He, Bing Yan and Aiming Lin, 2016. Segmentation of active normal faulting along the southern boundary of the Weihe Graben, central China, 2016 AGU Fall Meeting, 16 Dec, 2016, San Francisco, USA.

(27) Aiming Lin and Bing Yan, 2015. Initiate timing and slip amount of active strike-slip faults in the Tibetan Plateau: an example from the Ganzi-Yushu-Xianshuihe Fault Zone. 北淡国際活断層シンポジウム 2015, 2015年1月13-16日, 兵庫県淡路島, 招待講演.

(28) Bing Yan, Shinji Toda and Aiming Lin, 2015. Coulomb stress triggering hypothesis as implication on the assessments of recurrence interval and seismic hazard of the strike-slip Xianshuihe-Xiaojiang Fault System. 北淡国際活断層シンポジウム 2015, 2015年1月13-16日, 兵庫県淡路島,

(29) Aiming Lin, Gang Rao and Maomao Wang, 2015. Millennium recurrence interval of morphogenic earthquakes and the decline of the Sanxingdui and Jinsha civilizations, Sichuan Plain, central China. Workshop on Active faults and Paleoseimology, 29 Jan. 2015, Kyoto University, Japan.

(30) Maomao Wang and Aiming Lin, 2015. Active thrust faulting and paleoseismic records of the Longquanshan Fault in the interior of the Sichuan Basin, China. Workshop on Active faults and Paleoseimology, 29 Jan. 2015, Kyoto University, Japan.

(31) Bing Yan, Shinji Toda, and Aiming Lin, 2015. Coulomb stress change and its

implication on the seismic hazard assessment along the strike-slip Ganzi-Yushu-Xianshuihe-Xiaojiang Fault Zone. Workshop on Active faults and Paleoseimology, 29 Jan. 2015, Kyoto University, Japan.

(32) 林 愛明, 佐野実可子, Bing Yan・Maomao Wang, 2015. 2014年長野県北部 Mw 6.2 地震の地表地震断層の特徴. Co-seismic surface ruptures produced by the 2014 Mw 6.2 Nagano earthquake, along the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line, central Japan. 2015年地球惑星合同学会, 5月27日, 幕張メッセ.

(33) 林 愛明・佐野実可子, Bing Yan・Maomao Wang, 2015. 2014年長野県北部 Mw 6.2 地震の震源断層-神城断層の古地震調査. 2015年地球惑星合同学会, 5月28日, 幕張メッセ.

(34) 林 愛明・小野 温・佐野実可子, 2015. 伊豆半島における新発見の活断層-狩野川断層(新称)の変動地形と最近活動性. 2015年地球惑星合同学会, 5月28日, 幕張メッセ.

(35) Bing Yan, Shinji Toda and Aiming Lin, 2015. Coulomb stress triggering hypothesis as implication on the assessments of recurrence interval of the strike-slip Ganzi-Yushu-Xianshuihe-Xiaojiang Fault System. 2015年地球惑星合同学会, 5月27日, 幕張メッセ.

(36) Aiming Lin, 2015. Millennium recurrence interval of M 8 earthquakes within the Longmen Shan Thrust Belt. International Workshop on the Frontiers Geosciences and Annual Meeting of the International Professionals for the Advancement of Chinese Earth Sciences. 2015, 6月28日, Nanjing, China. 招待講演.

(37) Maomao, Wang, Aiming Lin, Bing Yan, 2015. Evidences of fault activity and recent large paleoearthquakes along the Longquanshan Fault within the Sichuan Basin, China. International Workshop on the Frontiers Geosciences and Annual Meeting of the International Professionals for the Advancement of Chinese Earth Sciences. 2015, 6月28日, Nanjing, China.

(38) Bing Yan and Aiming Lin, 2015. Total offset amount and long-term slip rate of the active strike-slip Ganzi-Yushu-Xianshuihe Fault Zone, Tibetan Plateau. International Workshop on the Frontiers

Geosciences and Annual Meeting of the International Professionals for the Advancement of Chinese Earth Sciences. 2015, 6月28日, Nanjing, China.

(39) Aiming Lin, 2015. Millennium recurrence interval of $M \sim 8$ earthquakes within the Longmen Shan Thrust Belt, central China (龍門山断層帯における千年周期の大地震). 日本地震学会 2015 年度秋季年会, 10月26-28, 神戸国際会議場.

(40) 林 愛明, 2015. 内陸巨大古地震による長江文明の滅亡. 京都大学アカデミックデイ 2015 — みんなで対話する京都大学の日 —, 2015年10月4日, 京都大学百周年時計台記念館.

(41) Aiming Lin, 2015. Co-seismic thrust ruptures produced by the 2014 M_w 6.2 Nagano earthquake, along the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line, central Japan. The 1st Sino-German Workshop on Seismic Rupture and Faulting, 1-2 Nov. 2015, Chengdu, China ((invited speaker, 招待講演).

(42) Aiming Lin, 2015. Millennium recurrence interval of morphogenic earthquakes on the Qingchuan fault, northeastern segment of the Longmen Shan Thrust Belt, China. Oral presentation, 2015 AGU Fall Meeting, 17 Dec, 2015, San Francisco, USA.

[図書] (計2件)

(1) 林 愛明, 2017. 2016年M7.3熊本地震-地表地震断層と阿蘇火山におけるビジュアル記録. 近未来社, 190p (ISBN: 978-4-906431-48-9 C1044).

(2) Aiming Lin, 2017. 2016 M_w 7.1 Kumamoto Earthquake: A photographic atlas of coseismic surface ruptures related with the Aso Volcano, Japan. Springer, Berlin, (ISBN: 978-981-10-5854-7, ISBN(e-book): 978-981-10-5855-4), DOI:10.1007/978-981-10-5855-4

[その他]

ホームページ等

<http://www-crus.kugi.kyoto-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

林 愛明 (Aiming, Lin)

京都大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号: 90283861