

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 2 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2011～2014

課題番号：23253002

研究課題名(和文) 内陸長大活断層のセグメンテーションと断層間相互作用 チベット高原中東縁部を例に

研究課題名(英文) Segmentation and fault interaction of intracontinental active faults: an example from the Tibetan Plateau

研究代表者

林 愛明(Lin, Aiming)

京都大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90283861

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 20,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究プロジェクトは、2008年Mw7.9四川大地震や2010年Mw6.9青海省玉樹地震を含む多くの歴史地震が発生したチベット高原中東縁部周辺域の長大活断層をターゲットに内陸長大活断層のセグメンテーション・断層相互作用・地震断層破壊メカニズムとの関連性を解明する目的で行われてきた。研究成果として計28編の論文を国際学術雑誌に公表してきた。本研究と関連して、中国オールドス台地周辺域の活断層と古地震およびプレート境界としての富士川河口断層帯の最近の活動性と分布特徴や有馬 高槻構造線、糸魚川 静岡構造線活断層系の地震断層岩形成メカニズムなどが明らかにされた。

研究成果の概要(英文)：This project focused on the segmentation and fault interaction as well rupture mechanisms of the active faults in the eastern margin of the Tibetan Plateau including the Longmen Shan Thrust Belt active fault zone that triggered the 2008 Mw 7.9 Wenchuan earthquake and the Xianshuihe fault zone that triggered the Mw 6.9 Yushu earthquake. During the study of this project, we have published 28 high impact papers in the international journals. As related topics with this project, we have also studied the active faults and paleoearthquakes in Japan, including the Fujigawa-kakou fault zone as a plate boundary and the structural features of fault damage zones and fault rocks developed in the Arima-Takatsuki Tectonic Line and Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line active fault systems.

研究分野：地震地質学

 キーワード：活断層 セグメント区分 断層相互作用 内陸大地震 チベット高原 地震断層 断層破壊メカニズム
地震活動性

1. 研究開始当初の背景

1995年兵庫県南部地震以降，日本が世界に先駆けて，一般的な地震防災上の必要性から，活断層から発生する地震の調査・予測研究が国家事業として強力に推進されている．活断層から発生する地震の予測研究について，1990年代以降において活断層の多重セグメント地震を想定したカスケード地震モデルと震源過程・強震動の研究と結びついて，長大活断層のセグメント区分と地震規模と時期の確率的予測研究が重要となっている．近年に発生した内陸大地震については世界的に研究事例が蓄積されつつあるが，中央構造線や糸魚川-静岡構造線などの長大活断層で予想される極低頻度の限界大地震と地震ハザードを評価する上で，内陸巨大地震の震源となる活断層と最近の内陸巨大地震により生じた地震断層に関する調査・研究事例が不可欠である．

2. 研究の目的

本研究は，2008年 M_w 7.9 四川大地震と2010年 M_w 6.9 青海省玉樹地震を含む多くの歴史大地震が発生したチベット高原中東縁部の長大活断層をターゲットに，内陸長大活断層のセグメンテーション・断層間相互作用・地震断層破壊メカニズムとの関連性を解明するという地震地質学・地震学・構造地質学・地震ハザード評価という新しい視点から，内陸大地震の震源となる活断層・地震断層の繰り返し破壊・変形機構・断層および断層セグメント間の相互作用・地震断層の破壊メカニズムを解明すること目的としている．

3. 研究の方法

本研究では，最近著しく進歩を成した衛星画像解析の技術を導入して，TEM（～15mの解像度）および高解像度（0.5-1mの解像度）の衛星画像の解析により断層全体の分布・幾何形態・詳細な構造特徴を明らかにする．また，衛星画像解析結果に基づいて，野外調査を行い，断層変動地形・構造を明らかにした上で，調査実施可能な断層露頭でトレンチ掘削をする予定である．これらの調査・解析の結果に基づいて，断層セグメンテーション・断層セグメント間の相互作用の数値シミュレーションを行って，断層モデリングを構築する．

4. 研究成果

本研究は，2008年 M_w 7.9 四川大地震や2010年 M_w 6.9 青海省玉樹地震を含む多くの歴史

地震が発生したチベット高原中東縁部周辺域の長大活断層をターゲットに内陸長大活断層のセグメンテーション・断層相互作用・地震断層破壊メカニズムとの関連性を解明する目的で行われてきた．本研究は，当初の計画通りに順調に進んできており，研究成果として計28編の論文を国際学術雑誌に公表してきた．本研究により，1）四川大地震の震源断層である龍門山断層帯は北東セグメント，中部セグメント，南部セグメントに分けることができること；それぞれのセグメントにおいて，断層活動と断層運動センスなどが異なっている；2）龍門山断層と斜交する鮮水河断層（甘牧-玉樹断層帯）の系統的な水系の左横ずれ変位が最大で60kmであること；3）四川大地震の地震断層の南西部セグメントで2013 M_w 6.6 雅安（Lushan）地震を引き起こしてきたこと；4）鮮水河断層のセグメント間の断層間相互作用が解明されたことなどが，明らかにされた．また，本研究と関連して，中国北東部に分布する長大活断層-Tan-Lu断層およびオールドス台地周辺域の活断層と古地震との関係を明らかにしたこと，プレート境界としての富士川河口断層帯の最近の活動性と分布特徴や有馬-高槻構造線，糸魚川-高槻構造線活断層系の地震断層岩，活断層破碎帯構造と活断層の古地震活動や地震断層破壊メカニズムなどが明らかにされた．

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24件）

- (1) Aiming Lin, Souichi Katayama, and Yasu'uchi Kubota, 2015. Structural analysis of seismogenic fault of the 2013 M_w 5.8 Awaji Island earthquake, NW Japan. *Bulletin of Seismological Society of America*, in press. DOI:10.1785/0120140122
- (2) Bing Yan and Aiming Lin* (*corresponding author), 2015, Timing and spouting height of sand boils inferred from the liquefaction caused the 2010 M_w 6.9 Yushu earthquake, Tibetan Plateau. *Open Journal of Earthquake Research*, 4, 14-22. DOI: <http://dx.doi.org/10.4236/ojer.2015.41002>
- (3) Bing Yan and Aiming Lin* (*corresponding author), 2015. Systematic deflection and offset of the Yangtze River drainage system along the strike-slip Ganzi-Yushu-Xianshuihe Fault Zone, Tibetan Plateau. *Journal of Geodynamics*, 87, 13-25. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jog.2015.03.002>
- (4) Gang Rao and Aiming Lin* (*corresponding author), Bing Yan, Dong Jia, and Xiaojun, Wu.

2014. Tectonic activity and structural features of intracontinental active normal faults in the Weihe Graben, central China. *Tectonophysics*, 636, 270-285. DOI: 10.1016/j.tecto.2014.08.019
- (5) [Aiming Lin](#), Gang Rao, and Bing Yan, 2014. Structural analysis of the right-lateral strike-slip Qingchuan fault, northeastern segment of the Longmen Shan thrust belt, central China. *Journal of Structural Geology*, 68, 227-244, DOI:10.1016/j.jsg.2014.09.014
- (6) Christoph Janssen, Richard Wirth, [Aiming Lin](#), Georg Dresen, 2013. TEM microstructural analysis in a fault gouge sample of the Nojima Fault Zone, Japan. *Tectonophysics*, 583, 101-104, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2012.10.020>.
- (7) [Aiming Lin](#), [Shinji Toda](#), Gang Rao, Satoru Tsuchihashi, and Bing Yan, 2013. Structural analysis of coseismic normal fault zones of the Mw 6.6 Fukushima earthquake, northeast Japan. *Bulletin of Seismological Society of America*, 103, 1603-1613. DOI:10.1785/0120120111.
- (8) [Aiming Lin](#), Katsuhiko Yamashita, and Makoto Tanaka, 2013. Repeated seismic slips recorded in ultracataclastic veins along active faults of the Arima-Takatsuki Tectonic Line, southwestern Japan. *Journal of Structural Geology*, 48, 3-13. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsg.2013.01.005>.
- (9) [Aiming Lin](#), Souichiro Takano, Tetsuno Hirono, and Kyuichi Kanagawa, 2013. Coseismic dehydration of serpentinite during large earthquakes: Evidence from high-velocity friction experiments. *Chemical Geology*, 344, 50-62. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemgeo.2013.02.013>.
- (10) Maomao Wang, Dong Jia, [Aiming Lin](#), Gang Rao, and Li Shen, Yiquan Li, 2013. Late Holocene activity and historical earthquake study on the Qiongxi thrust fault in the south segment of the Longmen Shan thrust belt, eastern margin of the Tibetan Plateau. *Tectonophysics*, 584, 102114. DOI:10.1016/j.tecto.2012.08.019.
- (11) [Aiming Lin](#), Kenta Iida, and Hideto Tanaka, 2013. On-land active thrust faults of the Nankai-Suruga subduction zone: the Fujikawa-kako Fault Zone, central Japan. *Tectonophysics*, 601, 1-19. DOI:10.1016/j.tecto.2013.04.020
- (12) [Aiming Lin](#), Gang Rao, Jianmin Hu, and Wangbin Gong, 2013. Reevaluation of the offset of the Great Wall caused by the ca. M 8.0 Pingluo earthquake of 1739, Yinchuan graben, China. *Journal of Seismology*. 17, 1281-1294. DOI: 10.1007/s10950-013-9391-2 .
- (13) Maomao Wang, Dong Jia, John H. Shaw, Judith Hubbard, [Aiming Lin](#), Yiquan Li, and Shen Li, 2013. Active fault-related folding beneath the alluvial terrace in the southern Longmen Shan range front, eastern Tibetan plateau. *Bulletin of Seismological Society of America*, 103, 2369-2385. DOI: 10.1785/0120120188(96)
- (14) [Aiming Lin](#) and Katsuhiko Yamashita, 2013. Spatial variations in fault zone structures along strike-slip faults: an example from the active faults, southwest Japan. *Journal of Structural Geology*, 57, 1-15. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsg.2013.10.006>
- (15) Yiquan Li, Dong Jia, Maomao Wang, John H Shaw, Jiankun He, [Aiming Lin](#), Xiaong Lin, and Gang Rao, 2013. Structural geometry of the source region for the 2013 Mw 6.6 Lushan earthquake: Implication for the earthquake hazard assessment along the Longmen Shan. *Earth and Planetary Sciences Letters*, 390, 275-286. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2014.01.018>
- (16) [Aiming Lin](#), Gang Rao, and Bing Yan, 2012. Field evidence of rupture of the Qingchuan Fault during the 2008 Mw 7.9 Wenchuan earthquake, northeastern segment of the Longmen Shan Thrust Belt, China. *Tectonophysics*, 522-523, 243-252. DOI:10.1016/j.tecto.2011.12.012.
- (17) [Aiming Lin](#), Ryoya Ikuta and Gang Rao, 2012. Tsunami run-up associated with co-seismic thrust slip produced by the 2011 Mw 9.0 Off Pacific Coast of Tohoku earthquake, Japan. *Earth and Planetary Sciences Letters*, 337-338, 121-132. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2012.04.047>.
- (18) [Aiming Lin](#), Jeong-Hwan Shin, and Kenichi Kano, 2012. Fluidized cataclastic veins along the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line Active Fault System, Central Japan and its Seismotectonic Implications, *Journal of Geology*, 120,453-465. DOI: 10.1086/665795.
- (19) [Aiming Lin](#), 2011. Seismic slip recorded in the fluidized ultracataclastic veins formed along the coseismic shear zone during the 2008 Mw 7.9 Wenchuan earthquake, *Geology*, 39, 547-550. DOI:10.1130/G32065.1.
- (20) [Aiming Lin](#), Gang Rao, Dong Jia, Xiaojun Wu, Bing Yan, and Zhikun Ren, 2011. Co-seismic strike-slip surface rupture and displacement produced by the 2010 Mw 6.9 Yushu earthquake, China, and implications for Tibetan tectonics. *Journal of Geodynamics*, 52, 249-259. DOI:10.1016/j.jog.2011.01.001
- (21) [Aiming Lin](#), Dong Jia, Gang Rao, Bing Yan, Xiaojun Wu, and Zhikun Ren, 2011. Recurrent morphogenic earthquakes occurred in the past millenarian along the strike-slip

- Yushu Fault, central Tibetan Plateau. *Bulletin of Seismological Society of America*, 101, 2755-2764. DOI:10.1785/0120100274
- (22) Gang Rao, Aiming Lin* (*corresponding author), Dong Jia, Xiaojun Wu, Bing Yan, and Zhikun Ren, 2011. Co-seismic surface strike-slip shear structures produced by the 2010 M_w 6.9 Yushu earthquake, central Tibetan Plateau. *Tectonophysics*, 507, 86-94. DOI:10.1016/j.tecto.2011.05.011.
- (23) Aiming Lin and Masayuki Nishikawa, 2011. Shear zone structures of the co-seismic surface ruptures produced by the 2001 M_w 7.8 Kunlun earthquake, northern Tibetan Plateau. *Journal of Structural Geology*, 33, 1302-1311. DOI: 10.1016/j.jsg.201107.003.
- (24) Gang Rao and Aiming Lin*(*corresponding author), 2011. Distribution of inundation by the great tsunami of the 2011 M_w 9.0 off Pacific Coast of Tohoku (Japan) earthquake, as revealed by ALOS imagery data. *International Journal of Remote Sensing*, 32, 7073-7086. DOI: 10.1080/01431161.2011.613415.

[学会発表](計48件)

- (1) 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.
- (2) 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.
- (3) 林 愛明・佐野実可子・Bing Yan・Maomao Wang, 2015. 2014年長野県北部 M_w 6.2地震の地表地震断層の特徴. Co-seismic surface ruptures produced by the 2014 M_w 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, 東京幕張メッセ.
- (4) 林 愛明・佐野実可子・Bing Yan・Maomao Wang, 2015. 2014年長野県北部 M_w 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, 東京幕張メッセ.
- (5) 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, 東京幕張メッセ.
- (6) 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, 東京幕張メッセ.
- (7) 佐野美佐子・飯田健太・林 愛明, 2014. 糸魚川—静岡構造線南部セグメント周辺域の活断層詳細マッピング. 2014年地球惑星合同学会, 4月28日, 横浜国際会議場.
- (8) Bing Yan and Aiming Lin, 2014. Systematical deflections and offsets of stream channels along the left-lateral strike-slip Kunlun Fault. 2014年地球惑星合同学会, 4月28日, 横浜国際会議場.
- (9) Wang Maomao, Aiming Lin, Dong Jia, and Shaw John, 2014. Active thrusting beneath an alluvial terrace in the southern Longmen Shan range front, Sichuan basin, China. 2014年地球惑星合同学会, 4月28日, 横浜国際会議場.
- (10) Maomao Wang and Aiming Lin, 2014. Late Holocene activity and paleoseismic record in the southern Longmen Shan range front, eastern Tibetan Plateau. 2014 Annual Meeting, Asia Oceania Geosciences Society, July 31, 2014, Sapporo, Japan.
- (11) Aiming Lin, Gang Rao, and Maomao Wang, 2014. Great palaeoearthquakes and the decline of the Sanxingdui and Jinsha civilizations, Sichuan Plain, central China. 2014 Annual Meeting, Asia Oceania Geosciences Society, July 31, 2014, Sapporo, Japan.
- (12) Bing Yan and Aiming Lin, 2014. Systematical deflections and offsets of stream channels along the left-lateral strike-slip Kunlun Fault. 2014 Annual Meeting, Asia Oceania Geosciences Society, Aug. 1, 2014, Sapporo, Japan.
- (13) 林 愛明・饒 剛・公 王兵・胡 建民, 2013. 1739年M8中国銀川平羅地震による万里の長城のずれの再評価. 2013年地球惑星合同学会, 5月22日, 東京幕張メッセ.
- (14) 林 愛明・山下和彦, ウルトラカタクラステック脈に記録された地震すべり: 有馬—高槻構造線六甲活断層を例に, 2013年地球惑星合同学会, 5月24日, 東京幕張メッセ.
- (15) 林 愛明・山下和彦, 2013. 横ずれ活断層沿いに発達した断層破砕帯の空間分布と構造特徴: 有馬—高槻構造線活断層帯を例に, 2013年地球惑星合同学会, 5月23日, 東京幕張メッセ.
- (16) Aiming Lin, 2013. Segmentation and millennium recurrence interval of morphogenic earthquakes of the Longmen Shan Thrust Belt, central China. 2013 AGU Fall Meeting, 9 Dec, 2013, San Francisco, USA (招待講演).
- (17) Aiming Lin, Gang Rao, Bing Yan, 2013. Reevaluation of the offset of the Great Wall associated with the 1739 M 8.0 Pingluo

- earthquake, Yinchuan Graben, China. 2013 AGU Fall Meeting, 10 Dec, 2013, San Francisco, USA (招待講演).
- (18) 林 愛明・饒 剛・王 毛毛, 2013. 中国四川盆地の巨大古地震と三星堆・金沙文明の滅亡. 2014 年地球惑星合同学会, 4 月 28 日, 横浜国際会議場
- (19) 林 愛明・片山翔一・饒 剛・窪田安打. 2013 年淡路島地震 (Mw 5.8) の震源断層の構造解. 2013 年地球惑星合同学会, 5 月 1 日, 横浜国際会議場.
- (20) Aiming Lin, Gang Rao and Bing Yan. 2012. Coseismic surface rupture length produced by the 2008 Mw 7.9 Wenchuan earthquake, and rupture of the Qungchuan Fault, northeastern segment of the Longmen Shan Thrust Belt, China. 2012 年地球惑星合同学会, 5 月 22 日, 東京幕張メッセ .
- (21) Aiming Lin, Kentaro Iida, Gang Rao and Bing Yan, 2012, Fault length and the past millennium activity of the Fujigawa-kako Fault Zone. 2012 年地球惑星合同学会, 5 月 21 日, 東京幕張メッセ .
- (22) Aiming Lin, Shinji Toda, Gang Rao, Satoru Tsuchihashi, and Bing Yan, 2012. Structural analysis of shear zones and fault rocks developed along the coseismic normal fault zones of the 2011 M 7.0 Fukushima earthquake northeastern Japan, 2012 年地球惑星合同学会, 5 月 21 日, 東京幕張メッセ .
- (23) 飯田健太・林 愛明・饒 剛・Yan Bing, 2012, 富士川河口断層帯北部根原地域の活断層の新発見とその最新活動. 2012 年地球惑星合同学会, 5 月 22 日, 東京幕張メッセ .
- (24) Bing Yan, Aiming Lin and Gang Rao, 2012. Systematical deflections and offsets of the Yangtze River drainages along the strike-slip Ganzi-Yushu Fault Zone, Tibetan Plateau. 2012 年地球惑星合同学会, 5 月 22 日, 東京幕張メッセ .
- (25) Gang Rao, Aiming Lin, Bing Yan, 2012. 3D remote-sensing study of spatial distribution of landslides in SE Weihe Basin, central China. 2012 年地球惑星合同学会, 5 月 21 日, 東京幕張メッセ .
- (26) 林 愛明・饒 剛・閻 兵・胡 建明・公 王斌, 2012. 龍門山逆断層帯の北部セグメントー青川断層沿いの右横ずれ変位と古地震. 日本活断層学会, 2012 年 11 月, 京都大学防災研究所 .
- (27) 林 愛明・辛 正換・狩野謙一, 2011. 流動化したウルトラカクラストイック脈に記録された地震すべり: 下円井断層を例に. 2011 年地球惑星合同学会, 5 月 23 日, 東京幕張メッセ .
- (28) Aiming Lin, Gang Rao, Dong Jia, Bing Yan, Xiaojun Wu, and Zhikun Ren, 2011. Recurrent morphogenic earthquakes in the past millennium along the strike-slip Yushu Fault,

- central Tibetan Plateau. 2011 年地球惑星合同学会. 5 月 24 日, 東京幕張メッセ .
- (29) Gang Rao and Aiming Lin, 2011. Relationship between the landslides caused by the 1556 M 8.5 Huaxian earthquake and active faults in the eastern Weihe Basin, central China. 2011 年地球惑星合同学会, 5 月 24 日, 東京幕張メッセ .
- (30) 田中 誠・林 愛明・山下和彦, 2011. 粉々になった地震断層岩: 有馬 - 高槻構造線沿いに産出する脈状断層岩. 2010 年地球惑星合同学会, 5 月 23 日, 東京幕張メッセ .
- (31) 土橋 悟・林 愛明, 2011. 境峠断層沿いに発達する剪断帯の構造解析. 2011 年地球惑星合同学会, 5 月 23 日, 東京幕張メッセ .
- (32) 林 愛明・生田領野・饒 剛 Run-up height distribution of tsunami caused by the 2011 M_w 9.0 Off Pacific Coast of Tohoku earthquake and its seismic implications. 2011 年地球惑星合同学会, 5 月 23 日, 東京幕張メッセ .
- (33) Aiming Lin, Zhikun Ren and Gang Rao, 2011. Eyewitness accounts of surface thrusting and folding during the 2008 M_w 7.9 Wenchuan earthquake, China. 日本地震学会, 2011 年会, 10 月 12 日, 静岡 .
- (34) Gang Rao, Aiming Lin, Bing Yan, 2011. Co-seismic Riedel shear structures produced by the Mw 6.9 Yushu earthquake, central Tibetan Plateau, China. 日本地震学会, 2011 年会, 10 月 12 日, 静岡 .

〔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〕
ホームページ等
http://www-crus.kugi.kyoto-u.ac.jp/crus/Lin_j.htm

6 . 研究組織

(1) 研究代表者
林 愛明 (LIN Aiming)
京都大学大学院理学研究科・教授
研究者番号: 90283861

(2) 研究分担者
遠田晋次 (TODA Shinji)
東北大学・学内共同利用施設等・教授
研究者番号: 80313047