

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 10 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21340146

研究課題名（和文）熱年代学と方解石脈分析による沈み込み帯震源域の熱過程研究

研究課題名（英文）Study of thermal processes of seismogenic regions in the subduction zone by thermochronology and calcite-vein analysis

研究代表者

田上 高広 (TAGAMI TAKAHIRO)

京都大学・理学研究科・教授

研究者番号：80202159

研究成果の概要（和文）：断層運動に伴う熱の発生と輸送を定量的に評価することを目指して、四万十付加帯興津メランジェ直上に発見されたかつての震源断層を熱年代学等で分析した。ジルコンを用いたフィッション・トラックの長さや年代の分析によって、断層近傍 20m 以内において 2 次的加熱による短縮と年代値の若返りが広く見られることが明らかになった。温度履歴のインバージョンなどから、加熱イベントはアウト・オブ・シークエンス断層の活動に伴う地殻深部からの熱水輸送に起因すると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In order to assess quantitatively the heat generation and transfer associated with fault motions, thermochronologic analysis was conducted on the ancient seismogenic-zone fault which juxtaposes the underlying Okitsu mélange unit and overlying coherent Nonokawa unit. The length and age analyses of zircon fission tracks unraveled that a zone of shortened tracks and younger ages due to secondary heating was widely distributed within about 20m away from the fault plane. Thermal history inversion and other analyses suggest that the secondary heating event was resulted from the hot fluid migration from deep crustal interiors, which is likely associated with fault motions of the out-of sequence thrust.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	5,300,000	1,590,000	6,890,000
2010 年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2011 年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
年度			
年度			
総計	14,000,000	4,200,000	18,200,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：熱年代学・方解石脈・沈み込み帯・震源域・熱過程・フィッショントラック

1. 研究開始当初の背景

(1) 断層運動に伴う熱の発生と輸送を定量的に評価するために、断層摩擦発熱と流体移動による熱輸送を明らかにする必要がある。両者は共に、主として地殻深部で起る過程であるため、直接観測が難しくわからない事が多かった。

(2) 兵庫県南部地震後に進められた野島断層をはじめとする活断層の学術掘削プロジェクトの結果、断層岩の高精度温度履歴解析から新しい展開がもたらされた。

2. 研究の目的

(1) プレート沈み込み帯の震源断層を対象

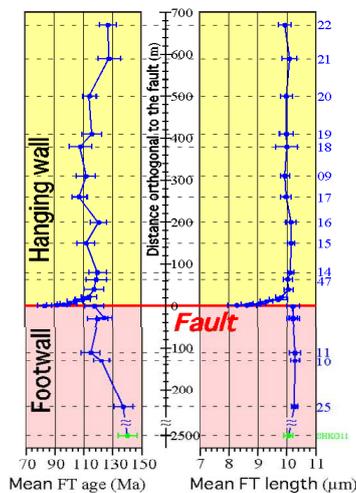
に、断層岩の熱年代分析と方解石脈分析を行い、断層運動に伴う熱イベントを検出する。
 (2) 検出された熱イベントについて、温度履歴のインバージョン解析等から、加熱の時期、期間、温度の推定と、熱の発生・輸送のモデル化を行う。

3. 研究の方法

(1) かつての震源断層であると考えられる四万十付加帯中の断層の現地調査を行い、断層から様々な距離の試料を採取し、ジルコンを用いた熱年代学的分析 (FT、(U-Th)/He) および方解石脈の分析 (産状の記載と流体包有物分析) を行う。
 (2) 熱影響が顕著に見られる断層近傍の試料について、トラック長分布と FT 年代を用いたインバージョンを行い、試料ごとに最適な温度履歴を復元し比較検討する。これにより、断層近傍の加熱イベントの時期 (厳密には、その後の冷却開始時期) 等を推定する。

4. 研究成果

(1) 四万十付加帯興津メランジェ直上の古震源断層について、断層を横切る4つのルートに沿って調査と試料採取を行った。その結果、上盤側の野乃川層約1 km と下盤側の興津メランジェ約500m から計52地点において砂岩を採取し、良好なジルコンを分離することが出来た。
 (2) それらのジルコンについて、フィッシュオントラック (FT) の長さ分布と、単結晶年代分布が得られた。その結果、上盤側の断層近傍20m 以内では、4つのルートのすべてにおいて、FT のアニーリングによる短縮と年代値の若返りが見出された (下図; 代表的な海側のルートにおける、断層からの距離に対するジルコン FT 年代値とトラック長分布の変化。断層直近の上盤側で年代値とトラック長が急激に減少しており、付加体形成後に2次的な加熱を受けたことがわかる。)



(3) 下盤側の断層近傍20m 以内では、砂岩ブロックが少ないため3地点からのみデータが得られた。そのうち2地点において、同様の FT アニーリングが見出された。

(4) 以上より、加熱帯は断層沿いの広い範囲に存在し、加熱の強度には局地性があることが明らかになった。加熱帯の幅が20m 程度と広いことと、断層岩の変質と鉱物脈を伴うことから、加熱イベントは断層運動に伴う地殻深部からの熱水移動に起因することが示唆される。

(5) 熱影響が顕著に見られた断層近傍の試料について、トラック長分布と FT 年代を用いたインバージョンを行い、加熱イベントの時期を $48 \pm 6\text{Ma}$ (2SE) と求めることが出来た。これは付加体形成時期よりかなり若く、アウト・オブ・シークエンス断層の活動に伴う熱水輸送を反映していると考えられる。

(6) 国内外における位置づけ、インパクト、今後の展望など:

断層岩の温度履歴解析を用いて、断層運動に伴う熱の発生と輸送を定量的に復元する研究はほとんど前例がなく、特に高精度の熱年代学を用いる研究は、我々のグループが世界に先駆けて開始し発展させたユニークな領域である。従来の熱年代学では、地質学的時間スケールでの温度履歴研究が主流であったのに対し、数秒スケールの断層摩擦発熱まで扱う「短時間熱年代学」を構築してきた。これらの成果は数多く引用され、レビュー論文の依頼 (Rev. Mineral. Geochem. 誌 (2005年) および Tectonophys. 誌 (2012年))、また、2008年、2010年および2012年の熱年代学国際会議での基調・招待講演の依頼など国際的に高く評価されている。

本研究において行った付加体中の古震源断層についての解析も前例がなく、極めて新規性が高い成果が得られた。また、本研究は断層帯 (または地殻内弱線) での熱発生と輸送の標準モデルの構築につながるため、上記の学術的意義に加え、放射性廃棄物地層処分など地圏環境問題への大きな実学的インパクトを与えることも出来た。

今後は、まず FT 法と (U-Th)/He 法を組み合わせ、断層加熱イベントの期間と温度を精度よく推定する必要がある。さらに現世付加体試料を用いて、方解石脈の ^{230}Th 年代測定と自生イライトの K-Ar (Ar/Ar) 年代をこれらに組み合わせ、高い時間分解能を持つ熱輸送モデルと活動履歴の構築を目指す予定である。

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 25 件)

- ① Yamada, K., Hanamuro, T., Tagami, T., Shimada, K., Takagi, H., Yamada, R., and Umeda, K., The first (U-Th)/He thermochronology of pseudotachlylyte from the Median Tectonic Line, southwest Japan., *J. Asian Earth Sci.*, 査読有, 45 巻, 2012, 17-23
DOI:10.1016/j.jseaes.2011.08.009
- ② Sueoka, S., Kohn, B. P., Tagami, T., Tsutsumi, H., Hasebe, N., Tamura, A. and Arai, S., Denudation history of the Kiso Range, central Japan, and its tectonic implications: Constraints from low-temperature thermochronology., *Island Arc*, 査読有, 21 巻, 2012, 35-52
DOI:10.1111/j.1440-1738.2011.00789.x
- ③ Tagami, T., Thermochronological investigation of fault zones., *Tectonophys.*, 査読有, 538-540 巻, 2012, 67-85
DOI: 10.1016/j.tecto.2012.01.032.
- ④ Tanikawa, W., Mukoyoshi, H., Tadai, O., Hirose, T., Tsutsumi, A. and Lin, W., Velocity dependence of shear-induced permeability associated with frictional behavior in fault zones of the Nankai subduction zone., *Journal of Geophysical Research*, 査読有, 投稿中, 2012, ページ該当なし
DOI: 10.1029/2011JB008956 (in press).
- ⑤ Yamasaki, S., Sawada, R., Ozawa, A., Tagami, T., Watanabe, Y. and Takahashi, E., Unspiked K-Ar dating of koolau lavas, Hawaii: Evaluation of the influence of weathering/alteration on age determinations., *Chem. Geol.*, 査読有, 24 巻, 2011, 243-257
DOI:10.1016/j.chemgeo.2011.05.003.
- ⑥ Yamaguchi, A., Sakaguchi, A., Sakamoto, T., Iijima, K., Kameda, J., Kimura, G., Ujiiie, K., Chester, F. M., Fabbri, O., Goldsby, D., Tsutsumi, A., Li, C-F. and Curewitz, D., Progressive illitization in fault gouge caused by seismic slip propagation along a megasplay fault in the Nankai Trough., *Geology*, 査読有, 39;no.11,2011, 995-998
DOI: 10.1130/G32038.1.
- ⑦ Tsutsumi, A., Fabbri, O., Karpoff, A. M., Ujiiie, K. and Tsujimoto, A. Friction velocity dependence of clay-rich fault material along a megasplay fault in the Nankai subduction zone at intermediate to high velocities., *Geophysical Research Letters*, 査読有, 巻該当なし, 2011, ページ該当なし
DOI: 10.1029/2011GL049314.
- ⑧ Shibazaki, B., Matsuzawa, T., Tsutsumi, A., Ujiiie, K., Hasegawa, A. and Ito Y., 3D modeling of the cycle of a great Tohoku-oki earthquake, considering frictional behavior at low to high slip velocities., *Geophysical Research Letters*, 査読有, 38 巻, 2011, ページ該当なし
DOI: 10.1029/2011GL049308.
- ⑨ Ujiiie, K., Tsutsumi, A. and Kameda, J., Reproduction of thermal pressurization and fluidization of clay-rich fault gouges by high-velocity friction experiments and implications for seismic slip in natural faults, *Geology of the earthquake source.*, The Geological Society of London Special Publications, 査読有, 359 巻, 2011, 267-285
DOI: 10.1144/SP359.15.
- ⑩ Ujiiie, K. and Tsutsumi, A., High-velocity frictional properties of clay-rich fault gouge in a megasplay fault zone, Nankai subduction zone, *Geophysical, Research Letters*, 査読有, 巻該当なし, 2011, ページ該当なし
DOI: 10.1029/2010GL046002
- ⑪ Garcia, M. O., Swinnard, L., Weis, D., Greene, A. R., Tagami, T., Sano, H., Gandy, C. E., Petrology, geochemistry and geochronology of Kaua' ilavas over 4.5 Myr: Implications for the origin of rejuvenated volcanism and the evolution of the Hawaiian plume, *J. Petrol.*, 査読有, 10 巻, 2010, 1507-1540
DOI: 10.1093/petrology/egq027.
- ⑫ Zwingmann, H., Yamada, K. and Tagami, T., Timing of brittle deformation within the Nojima fault zone, Japan., *Chem. Geol.*, 査読有, 275 巻, 2010, 176-185
DOI:10.1016/j.chemgeo.2010.05.006
- ⑬ Hayashi, N. and Tsutsumi, A., Deformation textures and mechanical behavior of a hydrated amorphous silica formed along an experimentally

- produced fault in chert, *Geophysical Research Letters*, 査読有, 巻該当なし, 2010, ページ該当なし
DOI: 10.1029/2010GL042943
- ⑭ Yamasaki, S., Kani, T., Hanan, B. B., Tagami, T., Isotopic geochemistry of Hualalai shield stage tholeiitic basalts from submarine North Kona region, Hawaii, *J. Vol. Geotherm. Res.*, 査読有, 185 巻, 2009, 223-230
DOI:10.1016/j.jvolgeores.2009.06.006
- ⑮ Byrne, T. B., Lin, W., Tsutsumi, A., Yamamoto, T., Kanagawa, K., Kitamura, Y., Yamaguchi, A. and Kimura, G., Anelastic strain recovery reveals extension across SW Japan subduction zone, *Geophysical Research Letters*, 査読有, 36 巻, 2009, ページ該当なし
DOI: 10.1029/2009GRL040749, 2009
- ⑯ Ujiie, K., Tsutsumi, A., Fialko, Y. and Yamaguchi, H., Experimental investigation of frictional melting of argillite at high slip rates: Implications for seismic slip in subduction-accretion complexes, *Journal of Geophysical Research*, 査読有, 114 巻, 2009, ページ該当なし
DOI:10.1029/2008JB006165, 2009
- [学会発表] (計 29 件)
- ① Tagami, T., Thermochronological investigation of seismogenic fault zones: an overview and examples from Japanese Islands., International Conference on a New Perspective of Great Earthquakes along Subduction Zones, 2012/2/28, 高知文化プラザかるぽーと (高知県)
- ② Yamasaki, S., Constraining timing of brittle deformation - a case study from fault zones in Toki Granite, Japan., *Goldschmidt 2011*, 2011/8/15, Prague, Czech Republic
- ③ 郁芳随徹, 断層帯のジルコン熱年代学- 跡津川断層系茂住祐延断層を例として -, 地球惑星科学関連学会 2011 年連合大会, 2011/5/22, 幕張メッセ国際会議場 (千葉県)
- ④ 山崎誠子, 断層ガウジ中の細粒雲母粘土鉱物の K-Ar 年代法への適用, 地球惑星科学関連学会 2011 年連合大会, 2011/5/22, 幕張メッセ国際会議場 (千葉県)
- ⑤ 郁芳随徹, 断層帯のジルコン熱年代学 - 四国興津地域を例として -, 地球惑星科学関連学会 2011 年連合大会, 2011/5/25, 幕張メッセ国際会議場 (千葉県)
- ⑥ 山田隆二, ジルコンフィッシュントラックの annealing kinetics, 日本地質学会第 118 年学術大会・日本鉱物科学会 2011 年年会合同学術大会 (水戸大会), 2011/9/11, 茨城大学水戸キャンパス (茨城県)
- ⑦ Tsutsumi, A., Frictional properties of clay-rich fault materials along a megasplay fault in the Nankai subduction zone for intermediate to high-velocities., 2011 Fall Meeting, AGU, 2011/12/5, San Francisco, USA
- ⑧ Tsutsumi, A., Frictional properties of clay-rich fault materials in the Nankai subduction zone for intermediate to high-velocities., International conference on a new perspective of great earthquakes along subduction zones, 2011/2/29, 高知文化プラザかるぽーと (高知県)
- ⑨ 堤 昭人, 水和化非晶質シリカの力学挙動と変形組織について, 地球惑星科学関連学会 2011 年連合大会 (招待講演), 2011/5/24, 幕張メッセ国際会議場 (千葉県)
- ⑩ Tagami, T., Thermochronology of fault zones, International Conference on Thermochronology Thermo2010, 2010/8/17, Glasgow, United Kingdom
- ⑪ Yamada, K., Ultra short term or hydrothermal retention experiments of zircon (U-Th)/He age, International Conference on Thermochronology Thermo2010, 2010/8/16, Glasgow, United Kingdom
- ⑫ Tagami, T., Thermal processes of seismogenic zones inferred from the rmochronology of fault rocks 地球惑星科学関連学会 2010 年連合大会, 2010/5/16, 幕張メッセ国際会議場 (千葉県)
- ⑬ Yamada, K., (U-Th)/He thermochronologic analysis of the Median Tectonic Line and associated pseudotachylyte, *Goldschmidt Conference*, 2009/6/21-26
- ⑭ 田上 高広, 熱年代学を用いた断層帯の活動史と熱過程研究, 日本地質学会第 116 年学術大会, 2009/9/4-6, 岡山大学

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

長谷部 徳子 (HASEBE NORIKO)
金沢大学・環日本海域環境研究センター・
准教授

研究者番号：60272944

深畑 幸俊 (FUKAHATA YUKITOSI)

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号：10313206

坂口 有人 (SAKAGUTI ARITO)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部変

動研究センター・研究員

研究者番号：80304666

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田上 高広 (TAGAMI TAKAHIRO)

京都大学・理学研究科・教授

研究者番号：80202159

(2) 研究分担者

堤 昭人 (TUTUMI AKITO)

京都大学・理学研究科・助教

研究者番号：90324607

渡邊 裕美子 (WATANABE YUMIKO)

京都大学・理学研究科・助教

研究者番号：20509939

(3) 連携研究者

木村 学 (KIMURA GAKU)

東京大学・理学研究科・教授

研究者番号：80153188

中井 俊一 (NAKAI SYUNITI)

東京大学・地震研究所・准教授

研究者番号：50188869

梅田 浩司 (UMEDA KOUJI)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・地

層処分研究開発部門・研究員

研究者番号：60421616