

機関番号：12604

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20340136

研究課題名（和文） 中央構造線の連続コアによる断層帯内部構造解析

研究課題名（英文） Internal Structure of the Median Tectonic Line fault zone revealed by analysis of continuous borehole core

研究代表者

藤本 光一郎 (FUJIMOTO KOICHIRO)

東京学芸大学・教育学部・准教授

研究者番号：80181395

研究成果の概要（和文）：

中央構造線（MTL）掘削コアは深度 473.9m で MTL 領家帯と三波川帯の岩石境界である MTL を貫いている。コアは断層帯内部構造から、450℃以上の温度条件から地表付近に至る多様な条件での断層活動を記録している。小断層に基づく応力逆解析から、断層活動は大きく4つのステージに分類され、このうち最初のステージにおいて脆性-塑性遷移を経験した。これらの中で微細構造解析による脆性-塑性遷移領域の力学的性質、変質鉱物によるステージごとの熱水活動の状況、炭質物のラマン分光解析による脆性断層での摩擦発熱を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

A drill hole penetrates the Median Tectonic Line (MTL) at 473.9m depth which is the boundary between the Ryoke granitic rocks and the Sanbagawa metamorphic rocks. The internal structure of MTL fault zone was revealed by the drillcore samples, and has evolved through a series of faulting events under various temperature conditions from 450 °C to the surface. The evolution history of the fault zone can be divided into four stages based on the stress inversion analysis, and the fault zone experienced the brittle-plastic transition at the first stage during their evolution. A microstructure analysis revealed the stress state around the brittle-plastic transition zone. Analyses of altered minerals revealed the hydrothermal activities within the fault zone during the evolution. Raman spectroscopy of carbonaceous matter revealed the frictional heating along the MTL fault zone during the brittle faulting.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	10,300,000	3,090,000	13,390,000
2009年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	13,900,000	4,170,000	18,070,000

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：中央構造線，断層帯内部構造，柱状図，変形の重複，変形条件，応力履歴，脆性-塑性遷移

1. 研究開始当初の背景

新潟-神戸歪集中帯(Sagiya et al.,2000)で立て続けに発生した新潟県中越地震，能登半

島地震，新潟県中越沖地震は，改めて陸域で発生する地震と10kmより深い断層深部の塑性歪集中の関連を強く示唆した。地殻深部に

おける歪集中の実態を把握してそのメカニズムを解明することは、地質学だけではなく、地震予測精度の向上にも重要な課題であるが、活断層の深部の観察や試料採取は困難なので、深部が露出している化石断層の研究が重要になる。代表者らは福島県東部の畑川破砕帯において、断層の走行方向に塑性変形の不均一性があることを見出し、そのような場所の近傍で著しい応力集中と加速的なすべりが起り、大地震の震源核となった可能性があることを指摘した（重松ほか，2003）。他の断層での変形の不均一性や内部構造、断層の内部構造と観測される物性との対比、歪集中過程の解明などが課題として残っている。

2. 研究の目的

中央構造線(以下 MTL) は西南日本の内帯と外帯を分ける日本最大の断層であり、断層沿いには断層深部の歪集中により形成したマイロナイトやカタクレサイトなどの断層岩が広く分布し、上記課題の解明には格好のターゲットとなる。しかし MTL は複雑な履歴を持ち、また露頭調査では情報が断片的であり、詳細な内部構造などの把握には限界があった。今回は、紀伊半島東部の松阪飯高観測点 (ITA) で連続コア試料が得られたことで、ボーリングコアと地表露頭の観察と解析を合わせることによって、①断層帯内部構造、②MTL の履歴、③断層深部の歪集中や内陸大地震発生との関わりを解明することを目的とした。

3. 研究の方法

①断層帯内部構造

肉眼観察に基き柱状図を作成するとともに、断層帯内部の構造の方向を、ボーリングコアに観察される構造の方向を、掘削時のボアホールテレビューア (BHTV) 検層結果に基づき復元した。さらに地表露頭の情報を合わせることで ITA 周辺の内部構造を明らかにした。また、薄片観察により肉眼観察結果を確認するとともに、微細構造の変化を記載した。また、流体関与の状況の把握を、粉末 X 線回折や電子顕微鏡による変質鉱物の同定や解析によって行った。

②MTL の履歴

応力履歴とそれに対応する温度環境の両面から検討する。復元したマイロナイトの面構造や、多数存在する小断層のスリップデータ (すべり面の姿勢とすべり方向) から応力逆解析によっていくつかのグループに分類し、それぞれの順番をコア観察から決定した。さらに変質鉱物の解析や鉱物温度計、マイロナイト中の石英の微細構造の解析などから変形時の温度環境を見積もった。

③断層深部の歪集中や内陸地震発生

断層岩の微細構造から内陸地震の発生領域とされる脆性—塑性遷移領域の応力状態を評価した。また三波川帯起源の脆性断層ガンについて、炭質物のラマン分光解析や鉱物の解析を行い、これを周囲の岩石と比較することにより脆性領域での断層発熱を評価した。

4. 研究成果

本研究の目的①断層帯内部構造、②MTL の履歴、③断層深部の歪集中や内陸大地震発生との関わり、に応じて述べる。

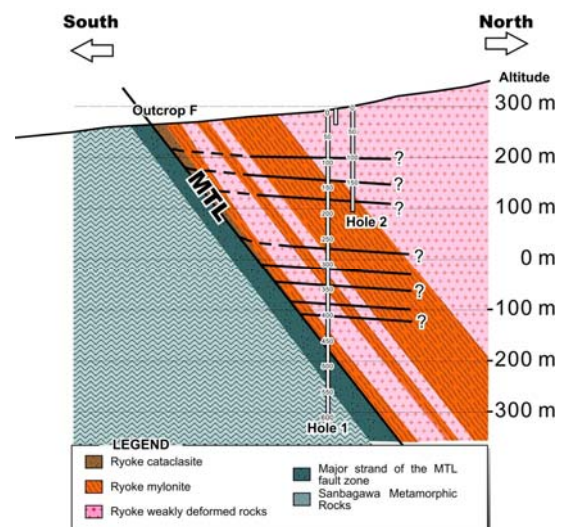


図1 コア解析、地表調査により明らかになった ITA 周辺の断層帯内部構造。赤系統の色が領家帯の花崗岩類で緑色系の色が三波川帯の変成岩。

① 断層帯内部構造

図 1 に ITA 周辺の断層内部構造を示す。MTL 断層面の姿勢は $86^{\circ} E56^{\circ} N$ で、これは ITA 周辺の地表露頭と、ボーリング孔の貫通深度を最小二乗法により平面回帰することにより求めた。誤差の検討からこの断層面は平面にかなり近い。

上盤の領家帯側は 140–286m, 330–370m, 450–473.9m の 3 深度区間にマイロナイト帯があり、変形温度は 300–450°C で MTL に近づくほど温度が低い。地表付近の MTL に隣接する部分は 300°C 付近で形成したカタクレサイト帯が認められ、このカタクレサイト帯は 450–473.9m のマイロナイト帯に影響を及ぼしている。また、それらに重複して厚さが数 10 cm ~ 数 m の脆性断層帯に認められ、多くは底角傾斜である。葡萄石や濁沸石などの存在から、温度は 200–300°C 前後で形成されたと推定される。さらに多数の小規模の脆性断層が認められた。

MTL から深度 555m までの三波川帯を原岩とする部分は著しく破碎し、傾斜補正を行うと厚さは約 70 m である。これが中央構造線の断層の中核部である。この中でも 474.5 m から 477.25 m の範囲は著しく破碎した断層ガウジ帯が多く、その厚さは傾斜補正をして 1.1 m になる。さらに断層帯内部での面構造と ITA 周辺の断層面の姿勢を考慮すると、厚さ 30 cm 以内の範囲に変位が集中していたものと考えられる。この領域の変形温度は変質鉱物からおよそ 200 °C と推定される。

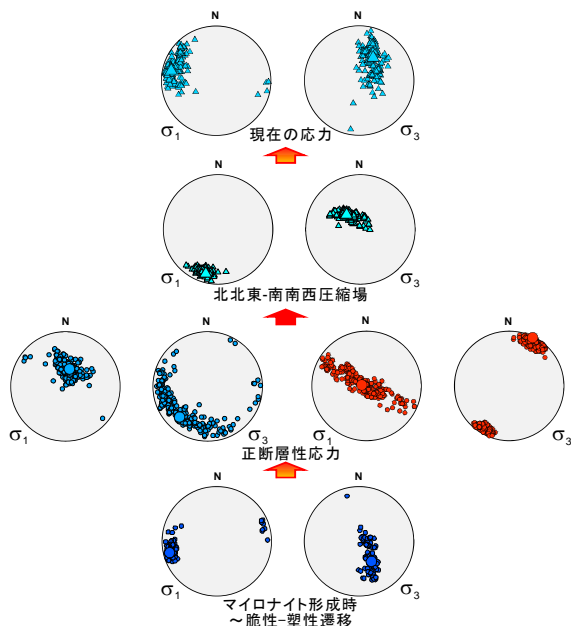


図2 応力逆解析から求めた応力履歴

② MTL の履歴

応力逆解析による履歴の復元にに基づき、領家帯マイロナイトを形成した応力場を被った後、正断層性応力場、南北圧縮場、現在の応力場である東西方向の圧縮場の順に、脆性変形の応力場の変遷を経験したと推定した。さらに、変形構造と変質鉱物の解析を合わせることで、葡萄石の形成の後、正断層性の応力場を経験し、正断層性の応力場と同時期に濁沸石の形成が始まり、現在の応力場の下で終了したと推定した。なお断層深部の歪集中を考える上で重要な脆性-塑性遷移は領家帯マイロナイトを形成した応力場の中で経験している。

③ 断層深部の歪集中や内陸地震発生

(1) 断層岩の微細構造解析と変形実験の比較から、脆性-塑性遷移直上での剪断摩擦強度が 30 MPa 未満で、この条件で許容される差応力は 60-70 MPa である。一方、脆性-塑性遷移直下のマイロナイトの被った差応力は 280 MPa 近く、対照的な力学的性質が明

らかになった。

(2) 変形実験の結果から、脆性-塑性遷移直上の断層岩は低速で正の摩擦速度依存性を持っており、共存するシュードタキライトと矛盾する。一方、摩擦速度依存性は高速では負であることから、なんらかの加速機構があれば脆性-塑性遷移付近での地震発生は説明できる。脆性-塑性遷移直下のマイロナイト中での高差応力下での延性破壊が、大地震の破壊開始と加速に重要な役割をしている可能性がある。

(3) 脆性-塑性遷移直下のマイロナイトについて、(1) の差応力、応力逆解析に先行研究で求められている温度圧力条件を考慮することで、具体的な応力テンソルの絶対値を決定した。

(4) 物質境界としての MTL (深度 473.9m) から下盤側の深度 555m までの岩石は著しく破碎し、とりわけ 474.5m から 477.25m の範囲は断層ガウジ帯が多い。断層ガウジ中の面構造の方位は 474.5-9 m の部分で傾斜が全体の 56° に近く、他は傾斜角が小さい。このことから MTL の中心部では厚さ 30cm 以内に変位が集中していたと考えられる。変質鉱物の解析からこの領域の変形温度はおよそ 200°C と推定される。

(5) MTL (深度 473.9m) 近傍の破碎物質、周囲の三波川帯変成岩に含有される炭質物のラマン分光解析から最高到達温度を見積もった。周囲の変成帯では 340°C 付近と最高変成温度相当の温度を示すのに対し、破碎帯内部では 360-400°C と断層発熱が示され、かつ発熱の部分と (4) の変位の集中の部分が一致した。数値計算との対比は、この発熱が間欠的な地震に伴う発熱であることを示している。破碎帯内部構造から Thermal Pressurization (TP) の影響が示唆されるが、ラマン分光の結果が TP の影響を考慮すべきかは今後の課題である。

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 5 件)

① Mori, H. & Wallis, S. R., Large-scale folding in the Asemi-gawa region of the Sanbagawa belt, southwest Japan, Island Arc19, 2010, 313-335, 査読有

② 重松紀生, 藤本光一郎, ほか 7 名, 中央構造線断層帯掘削とコアによる断層帯内部構造解析, 地質ニュース, 662, 2009, 16-22, 査読無

③ 小泉尚嗣, 重松紀生, ほか 28 名, 東南海・南海地震予測のための地下水等総合観測

点整備について、地質ニュース、662、2009、6-10、査読無

[学会発表] (計 23 件)

- ① H. Mori, S. Wallis, K. Fujimoto, N. Shigematsu, Raman spectral analysis of carbonaceous material to detect shear heating on a large fault—example from the Median Tectonic Line, Southwest Japan, American Geophysical Union 2010 Fall Meeting, 2010 年 12 月 15 日, モスコーンセンター (サンフランシスコ, 米国)
- ② 重松紀生, 藤本光一郎, 田中伸明, ボーリングコアを用いた中央構造線の応力履歴解析, 日本地質学会第 117 年度学術大会, 2010 年 9 月 18 日, 富山大学 (富山県)
- ③ 藤本光一郎, 田中伸明, 重松紀生, 中央構造線を貫く飯高赤桶コアの断層の変質鉱物と応力履歴の対比, 日本地質学会第 117 年度学術大会, 2010 年 9 月 18 日, 富山大学 (富山県)
- ④ N. Shigematsu, K. Fujimoto, N. Tanaka, T. Takeshita, H. Mori, S. Wallis, Faulting at depth revealed by the borehole core penetrating the Median Tectonic Line, SW Japan, 2010 Western Pacific Geophysics Meeting, 2010 年 6 月 24 日, Taipei International Convention Center (Taipei, Taiwan)
- ⑤ 藤本光一郎, 田中伸明, 重松紀生, 中央構造線ボーリングコアでみられる変質鉱物と変質条件, 日本地球惑星科学連合 2010 年学術大会, 2010 年 5 月 26 日, 幕張メッセ国際会議場 (千葉県)
- ⑥ 重松紀生, 藤本光一郎ほか 4 名, ボーリングコアによる中央構造線の脆性断層岩の構造, 日本地質学会 116 年学術会議, 2009 年 09 月 05 日, 岡山理科大学 (岡山県)
- ⑦ 重松紀生, 小泉尚嗣, 藤本光一郎, ウォリス サイモン, 高橋美紀, 中島隆, 木村希生, 上原真一, 竹下徹, 高木秀雄, 断層帯内部構造解析に向けた中央構造線の掘削, 日本地質学会第 115 年学術大会, 2008 年 9 月 22 日, 秋田大学 (秋田県)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤本 光一郎 (FUJIMOTO KOICHIRO)
東京学芸大学・教育学部・准教授
研究者番号：80181395

(2) 研究分担者

重松 紀生 (SHIGEMATSU NORIO)
産業技術総合研究所・活断層地震研究センター・主任研究員
研究者番号：80308163

ウォリス サイモン (WALLIS SIMON)
名古屋大学・環境学研究科・准教授
研究者番号：30263065

高橋美紀 (TAKAHASHI MIKI)
産業技術総合研究所・活断層地震研究センター・研究員
研究者番号：40470033

(3) 連携研究者

竹下 徹 (TAKESHITA TORU)
北海道大学・理学系研究科・教授
研究者番号：30216882

高木 秀雄 (TAKAGI HIDEO)
早稲田大学教育・総合科学学術院・教授
研究者番号：60154754

小泉尚嗣 (KOIZUMI NAOJI)
産業技術総合研究所・活断層・地震研究センター・研究グループ長
研究者番号：00215154

中島 隆 (NAKAJIMA TAKASHI)
産業技術総合研究所・地質情報研究部門・主任研究員
研究者番号：00357624

金川 久一 (KANAGAWA KYUICHI)
千葉大学・理学部・教授
研究者番号：40185698