

SSS028-01

会場:302

時間:5月26日 08:30-08:45

人間以上に高精度の地震波自動読み取りシステムの開発 (その2) Automatic arrival time picking compared to manual picking (2)

堀内 茂木^{1*}, 堀内優子¹, 飯尾能久², 佐々木祐樹², 澤田義博³, 関根秀太郎³, 岡田知己⁴, 日野亮太⁴, 中谷正生⁵, 直井 誠⁵, 中村洋光⁶

Shigeki Horiuchi^{1*}, Yuko Horiuchi¹, Yoshihisa Iio², Yuuki Sasaki², Sawada Yoshihiro³, Shutarou Sekine³, Tomomi Okada⁴, Ryota Hino⁴, Masao Nakatani⁵, Makoto Naoi⁵, Hiromitsu Nakamura⁶

¹ ホームサイスマメータ, ² 京都大学防災研究所, ³ 地震予知総合研究振興会, ⁴ 東北大学大学院理学研究科, ⁵ 東京大学地震研究所, ⁶ 防災科学技術研究所

¹Home Seismometer Corporation, ²DPRI, Kyoto University, ³ADEP, ⁴Graduate School of Science, Tohoku Univ., ⁵ERI, Univ. of Tokyo, ⁶NIED

1. はじめに 安価な地震観測装置が開発されたことから, 将来, 地震観測点数を現在の10倍程度に増やすことも可能であると思われる. しかし, 観測点数を10倍に増やすとP波, S波読み取り量も10倍になり, データ解析が困難になる. このため, P波とS波とを極めて正確に読み取ることができる自動処理システムの開発が不可欠である. 前回の報告(堀内他, 2010 秋期地震学会)では, 地震の専門家のノウハウを組み込んだ評価関数を用いる方法で, 人間以上に高精度の自動読み取りプログラムが開発できる可能性があることを示した. 開発されたシステムの課題は, 明らかに間違いである読み取りも含まれている点である. 今回は, 1) 不具合の改良, 2) リアルタイム波形データを用いた処理, 3) AE観測データの処理, を行えるようにした.

2. 方法 人間が読み取りを行う場合, 波形の特徴を総合的に判断して行っている. 前回示した方法は, 1) 到着時刻の候補を決め, 2) 候補の時間区間について, 波形の特徴を表すパラメータを計算し, 3) それらの値を用いて, 真の到着時刻を選ぶ評価関数を求めることにより, 読み取るものである. 到着時刻の候補は, 平均振幅が10%毎に大きくなる時刻とし, 波形の特徴を表すパラメータとしては, S/N比, 時間差, 卓越周波数, 振幅の時間変化等である. 評価関数は, 人間による読み取りと, 評価関数によるそれとの残差が最小になるよう, 未知数数を求めるようにした. この方法での評価関数の計算は, 約0.1秒間に10,000のイベントについての行なうことができる. このため, 人間による読み取りとの差が小さくなるよう, 評価関数に, 多くの未知数を用いることができる.

3. 結果 今回は, 以下のモードを作成し, 人間と同等に近い読み取りが行えることが確認された.

1) リアルタイム波形データを用いた処理モード. 地震予知総合研究振興会による「長岡平野西縁断層帯の地震活動性に関する調査研究」による観測点と, Hi-Net観測点, 計約200点のリアルタイムデータに, 本システムを適用し, チューニング等を行った. このモードは, 連続波形データにも適用可能である.

2) 反射波を用いた構造調査のための自動処理モード. 地下構造の研究等では, できるだけ正確に到着時刻等を読み取る必要がある. また, NMO法等による研究では, コーダ波に顕著な位相が含まれている記録を選ぶ必要がある. このような研究を目的として, 読み取り精度の高いデータのみで震源決定し, コーダ波に顕著な位相が含まれている場合は, その位相の到着時刻や振幅を読み取るようにした.

3) できるだけ多くの地震を震源決定するためのモード. 数点のみで検出されたイベントを正確に処理するための開発は, 時間ウィンドーの設定や, ノイズと地震との区別が難しく, 更なる開発が必要である.

4) AE観測のための自動処理モード. 南アフリカ金鉱山のAE観測データを用いて, AEの自動処理を行えるようにした. AEの中には, P波とS波のあいだに, 別のP波が到着するイベントが含まれているが, このようなイベントを除くと, 正確な読み取り, 震源決定が行えることが確かめられた.

4. 謝辞 本システムの開発では, 多くの方にデータを提供して頂いた. また, Hi-Netのデータも使わせて頂いた.

キーワード: 自動読み取り, P波, S波到着時刻, 評価関数, AE, リアルタイムデータ, 震源決定

Keywords: Automatic picking, P and S wave arrival times, Evaluation function, AE, real-time waveform data, Hypocenter location

SSS028-02

会場:302

時間:5月26日 08:45-09:00

長野県西部地震の震源域における高分解能応力場

High-resolution crustal stress field in the focal region of the Western Nagano Prefecture earthquake

飯尾 能久^{1*}, 堀内 茂木², 行竹 洋平³, 千葉 慶太¹

Yoshihisa Iio^{1*}, Shigeki Horiuchi², Yohei Yukutake³, Keita Chiba¹

¹ 京都大学防災研究所, ² ホームサイスマーター, ³ 神奈川県温泉地学研究所

¹ DPRI, Kyoto Univ., ² Home seismometer, ³ Hot Springs Research Institute

長野県西部地震の震源域において、地震メカニズム解を用いた応力逆解析により、1km メッシュの空間分解能で応力場を推定した。長野県西部地域では、四半世紀にわたって微小地震活動が継続しているが、1995 年から始まった高精度の稠密地震観測により、大量のデータが蓄積されている。1995-2007 年に精度良く決定された地震は約 3 万個、そのうち、メカニズム解の節面の方位の誤差が 10 度以内に推定されたものは約 2 千個存在する。今回は、断層面解の任意性を考慮した応力逆解析により、1984 年の震源断層沿い、および断層周辺における応力場の不均一を推定した。

Yukutake et al.(2010) によって指摘されているように、断層周辺では逆断層型、震源断層沿いにおいては横ずれ型の応力場が卓越する。より詳細に見ると、断層沿いにおいては、地震すべりが起こったと推定される領域では横ずれ型であるのに対して、それ以外では逆断層である傾向が見られた。断層周辺では、低速度異常域の近傍で応力場の乱れが見られた。

キーワード: 内陸地震, 応力場, 長野県西部地震, 断層, メカニズム解, 低速度異常

Keywords: intraplate earthquake, stress field, Western Nagano Prefecture earthquake, fault, focal mechanism, low velocity anomaly

SSS028-03

会場:302

時間:5月26日 09:00-09:15

稠密アレイ観測に基づく濃尾地震震源域の不均質構造～震源分布・地震波速度構造・レシーバー関数解析

Heterogeneous structures in the source region of the 1891 Nobi Earthquake based on a dense linear array

加藤 愛太郎^{1*}, 雑賀 敦¹, 大津 啓¹, 五十嵐 俊博¹, 蔵下 英司¹, 飯高 隆¹, 岩崎 貴哉¹, 武田 哲也², 濃尾地震断層域合同地震観測グループ¹

Aitaro Kato^{1*}, Atsushi Saiga¹, Hiromu Otsu¹, Toshihiro Igarashi¹, Eiji Kurashimo¹, Takashi Iidaka¹, Takaya Iwasaki¹, Tetsuya Takeda², Group for Joint Seismic Observations in the source region of the Nobi Earthquake¹

¹ 東京大学地震研究所, ² 防災科学技術研究所

¹ERI University of Tokyo, ²NIED

We deployed a dense seismic array along the source faults of the 1891 Nobi-earthquake (the largest magnitude intraplate earthquake in Japan). The seismic array consisted of 98 temporary seismometers with spatial interval of about 1 km. We manually picked first arrival times of P and S-waves for local and intraslab earthquakes beneath the seismic array, based on JMA catalog. Then, we obtained a detailed velocity model along the source faults, applying the TomoDD-code. In addition, we calculated receiver functions using teleseismic waveforms recorded by stations equipped with 1 Hz seismometers within the array, applying the spectral division.

The depth of hypocenters gradually deepens from NW to SE. At NW edge, we found out a localized low velocity layer near the bottom of the seismogenic zone. This low velocity layer also gradually deepens toward SE. Most of earthquakes near the faults occur along the periphery of high velocity bodies. We identified a high-velocity gap at depths around 20 km beneath the source faults. Furthermore, the oceanic Moho of subducting Philippine Sea Plate is imaged around SE areas.

SSS028-04

会場:302

時間:5月26日 09:15-09:30

濃尾地震断層系北部～福井地震断層系南部の地震波速度構造

Seismic velocity structure between the Nobi earthquake fault system and the Fukui earthquake fault system

青柳 恭平^{1*}, 栗山 雅之¹, 上田 圭一¹, 佐々木 俊法¹, 佐藤 浩章¹, 芝 良昭¹, 東 貞成¹

Yasuhiro Aoyagi^{1*}, Masayuki Kuriyama¹, Keiichi Ueta¹, Toshinori Sasaki¹, Hiroaki Sato¹, Yoshiaki Shiba¹, Sadanori Higashi¹

¹ 電力中央研究所

¹ CRIEPI

1. はじめに

1891年濃尾地震(M8.0)では、温見断層、根尾谷断層、梅原断層などが約80kmにわたって連動破壊したことが地震後の調査で明らかにされている。我々は、活断層の運動性評価の指標を抽出する目的で、その震源域北部を主な対象として、稠密微小地震観測、地形調査、地表地質調査、常時微動観測などを含む総合的な調査を2009年度から実施している。2010年地球惑星科学連合大会では前3項目の成果概要を報告したほか、2010年地震学会秋季大会では2009年の微小地震観測データをもとに得られた濃尾地震断層系北部の地震波速度構造について報告した。本大会では、2010年に新たに実施した稠密微小地震観測データを加えて得られた、濃尾地震断層系北部～福井地震断層系南部の地震波速度構造について報告する。

2. 稠密微小地震観測

1年目の観測は、2009年6月22日から11月26日まで、温見断層～根尾谷断層北部にかけて26地点で実施した。2年目の観測は、2010年5月29日から11月23日まで、温見断層北部～福井地震断層系南部にかけて26地点で実施した。このうち、11地点は同一箇所に設置したため、2年間で微小地震観測データが得られたのは計41地点である。観測網の広がり、断層系の走向方向に長軸をもつおよそ60km×30kmの範囲となった。各観測点には、1Hz速度型3成分地震計LE-3Dlite (lennartz社製)とオフラインレコーダDAT4 (クローバテック社製)を設置し、サンプリング周波数200Hzで連続収録した。

3. トモグラフィ解析

2年間の観測で見出された地震記録について目視検閲を行い、気象庁一元化震源で地震が同定された約8割については定常観測網の検測データも併合処理した。水平2層のP波速度モデル(深さ3kmまで5.5km/s、それ以深6km/s)を仮定して震源決定を行い、走時残差を観測点補正して解が収束した計550個の近地地震の検測値を基礎データセットとした。また、2009年北米濃合同構造探査の8箇所からの発破記録が我々の臨時観測網でも明瞭に捉えられたため、それらの発破位置と初動検測値も基礎データセットに加えた。さらに、臨時観測期間外に濃尾地震断層系直下で発生した440個の地震に関する気象庁一元化震源の検測値も加えて、計998個のイベントに関する検測データのカタログ値からDDトモグラフィを実施した。検測データ数はP波、S波ともに約2万5千個、DDデータ数はP波、S波ともに約9万個である。解析空間の原点を温見峠として、断層帯北部の走向に近いN50Wの方向にx軸、直交方向にy軸をとった。グリッド間隔は、x方向6km、y方向3～5km、z方向3kmである。

4. 速度構造と活断層との対比

地表付近では、約10km離れて並走する温見断層と揖斐川断層に挟まれた区間が低速度、その外側が高速度となる明瞭なコントラストが認められる。深度6～9kmでは、外側の高速度帯の間隔が狭まり、温見断層と揖斐川断層に挟まれた領域は全体としてプリズム状の低速度帯となっている。形態的には、横ずれ断層に特有のフラワーストラクチャーに類似している。この低速度のプリズム領域は、両断層の繰り返し変位によって、その内部が脆弱化したものと解釈できる。濃尾地震時に温見断層北部から約5km離れて破壊が乗り移ったとされる根尾谷断層の北端部や黒津断層は、このプリズム状の低速度帯中に位置している。このような条件下の活断層群は、地下では連結している可能性がある。

一方、福井地震震源域との境界部付近では、深度6～9kmで東西方向に伸びた低速度と高速度領域が幅5km程度で交互に繰り返し確認される。この走向や間隔は、その直上で確認されている殿上山断層、白椿山断層といった東西系の断層とよく対応している。現在の微小地震分布域は福井地震断層系から濃尾地震断層系まで帯状に連なって見えるが、その地下では両者を横断するような地下構造の存在が推定される。

謝辞

本研究には，2009 年北美濃合同観測グループ（研究代表：千葉大学 伊藤谷生教授）の発破データを使用させて頂きました．また，気象庁一元化震源処理要素およびイベント波形データを使用させて頂きました．データを提供してくださった関係機関の皆様に感謝いたします．

キーワード: 1891 年濃尾地震, 1948 年福井地震, 地震波速度構造, 活断層

Keywords: the 1891 Nobi earthquake, the 1948 Fukui earthquake, Seismic velocity structure, Active fault

SSS028-05

会場:302

時間:5月26日 09:30-09:45

GPS 連続観測による北部糸魚川-静岡構造線断層帯周辺の地殻上下変動 Vertical crustal movement around the northern Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line Fault Zone revealed by continuous GPS

鷲谷 威^{1*}, 西村 卓也², 松多 信尚¹

Takeshi Sagiya^{1*}, Takuya Nishimura², Nobuhisa Matsuta¹

¹ 名古屋大学, ² 国土地理院

¹ Nagoya University, ² Geospatial Information Authority

糸魚川-静岡構造線の北部は北部フォッサマグナの西端部に位置し、日本海拡大時以降現在まで活発な地殻変動が継続してきた地域である。糸魚川-静岡構造線断層帯は日本でも有数の活動度を持つ活断層であるが、歴史時代に大地震の記録が無い場合、大地震の発生様式や地殻変動との関係についても不明な点が多い。我々は糸魚川-静岡構造線断層帯周辺の詳細な地殻変動分布を解明することを目的として、1999年から2000年にかけて11点のGPS連続観測点を設置した。これまで、GPSの水平成分に基づいて地殻変動を議論してきたが、上下成分については十分な精度が得られず議論されてこなかった。このたび約10年におよぶデータを周辺のGPS連続観測点と合わせた解析を行うことにより詳細な上下変動分布の議論が可能となったので報告する。

新たに明らかとなった糸魚川-静岡構造線周辺の地殻上下変動の特徴は以下の通りである。1) 飛騨山脈は最大4-5mm/年程度で隆起している。隆起域の東縁は飛騨山脈と松本盆地の境界付近である。2) 松本盆地は東に下がり傾動し、松本盆地東縁断層の西側では1-2mm/年程度で沈降する。3) 松本盆地東縁断層と小谷-中山断層に挟まれた大峰帯では顕著な上下変動は見られない。4) 小谷-中山断層の東側の褶曲帯では1-2mm/年程度の隆起が見られる。5) 中央隆起帯では顕著な上下変動は見られない。

こうした地殻変動の特徴は地形・地質構造と整合的であり、飛騨山脈や松本盆地、犀川沿いの褶曲帯などを形成したテクトニックな運動が現在も継続していることを示唆する。松本盆地東縁断層を境として上下変動にコントラストが見られること、断層周辺に集中した水平短縮が見られることなどを勘案すると、松本盆地東縁断層においては、西北西-東南東方向の短縮運動が深部クリープなどの非弾的なプロセスで賄われているように見える。ただし、松本盆地の沈降は堆積層の圧密により生じている可能性がある。また、筑摩山地の地殻変動も、副次的な断層の活動や褶曲運動を考慮したモデリングが必要である。

キーワード: 糸魚川-静岡構造線, GPS, 地殻変動, 松本盆地東縁断層, フォッサマグナ, 隆起

Keywords: Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line, GPS, crustal deformation, East Matsumoto Basin Fault, Fossa Magna, uplift

SSS028-06

会場:302

時間:5月26日 09:45-10:00

跡津川断層における応力蓄積メカニズム：地殻不均質構造の影響

Stress accumulation mechanism in and around the Atotsugawa fault: Effect of crustal heterogeneity

高田 陽一郎^{1*}, 勝俣 啓², 片尾 浩¹, 小菅 正裕², 飯尾 能久¹, 鷲谷 威³, 歪集中帯大学合同地震観測グループ¹

Youichiro Takada^{1*}, Kei Katsumata², Hiroshi Katao¹, Masahiro Kosuga², Yoshihisa Iio¹, Takeshi Sagiya³, Japanese University Group of the Joint Seismic Observations at NKTZ¹

¹ 京大・防災研, ² 北海道大学 地震火山研究観測センター, ³ 弘前大学理工学部, ⁴ 名古屋大学環境学研究科

¹DPRI, Kyoto Univ., ²ISV, Hokkaido Univ., ³Hirosaki Univ., ⁴Nagoya Univ.

First, to estimate the stress field in and around the Atotsugawa fault with higher spatial resolution than previous report (Katsumata et al., 2010), we added focal mechanisms for very small earthquakes.

Second, to explain the estimated stress field, we constructed a fault model using commercial finite element code ABAQUS which allows us to incorporate non-linear viscoelasticity and crustal heterogeneity. Considering remarkable change in the crustal structure, as well seen in the Bouguer anomaly, across the Atotsugawa fault, we systematically elaborated the effect of crustal heterogeneity on the stress accumulation rate on the Atotsugawa fault.

キーワード: 跡津川断層, 地殻不均質構造, 震源メカニズム, 応力場, 有限要素法

Keywords: Atotsugawa Fault, crustal heterogeneity, focal mechanism, stress field, FEM

SSS028-07

会場:302

時間:5月26日 10:00-10:15

ボーリングコアによる中央構造線の内部構造解析

Internal Structure of the Median Tectonic Line, SW Japan revealed by a borehole core

重松 紀生^{1*}, 藤本 光一郎², 田中 伸明², 森 宏³, Wallis Simon³

Norio Shigematsu^{1*}, Koichiro Fujimoto², Nobuaki Tanaka², Hiroshi Mori³, Simon Wallis³

¹ 産業技術総合研究所, ² 東京学芸大学, ³ 名古屋大学

¹Geological Survey of Japan, AIST, ²Tokyo Gakugei University, ³Nagoya University

断層の性質は物理条件違いにより変わり、地殻の流体移動、力学的性質、地震学的挙動に影響を与える。長い削剥履歴を持つ断層帯の内部構造は、こうした物理条件による断層挙動の違いを反映し発展したものであり、その解析は、地殻内部での地震発生などのモデルを考える上で重要な物理条件の違いによる多様な断層の挙動の理解につながる。

産業技術総合研究所は最近、三重県松阪市飯高町に東南海・南海地震予測を目的とした地下水等観測施設、飯高赤桶観測点を建設し、その観測用掘削孔のひとつが、日本の陸上で最大の断層で、異なる条件下での長い活動履歴を持つ中央構造線を貫通した。飯高赤桶観測点の観測孔に基づく中央構造線の内部構造解析により次のことが明らかになった。

(i) 掘削孔の1つが、中央構造線(領家花崗岩類と三波川変成岩の境界)を473.9 mで貫通した。

(ii) 飯高赤桶観測点周辺の8箇所の地表露頭と、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、断層面の姿勢が $86^{\circ}\text{E}56^{\circ}\text{N}$ と求まった。誤差の検討からこの断層面は平面にかなり近い。

(iii) 領家帯、三波川帯の境界の下盤555mまでの岩石は著しく破碎しており、これが中央構造線の断層の中心部と考えられる。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1.1 mに及ぶ。X線粉末回折解析からこの領域の変形温度はおおよそ 150°C と推定される。

(iv) 中央構造線の上盤にはいくつかマイロナイト帯が見られる。これらの変形温度は 300°C から 450°C とばらつく。

(v) 300°C 付近で変形したマイロナイト中の石英の粒径は非常に細粒であり、高差応力下での変形が示唆される。

(vi) マイロナイトにはカタクラスティックな変形が重複し、これらを形成した応力の分離が可能である。

飯高赤桶コアには、様々な条件で形成した断層岩が見られることから、物理条件により断層挙動がどのように変わるのかを解明する手となる。講演ではこれらに基づき中央構造線の内部構造について考察する。

キーワード: 断層内部構造, 中央構造線, ボーリングコア, 物理検層

Keywords: internal structures of fault zones, Median Tectonic Line, borehole cores, geophysical logging

SSS028-08

会場:302

時間:5月26日 10:15-10:30

変形機構領域境界による歪速度と流動応力の見積り：三重県飯高町で掘削されたGSJ 飯高赤桶観測井コアの例

Strain rate and flow stress estimation based on the field boundary between grain-size sensitive and insensitive creep

奥平 敬元^{1*}, 重松 紀生²

Takamoto Okudaira^{1*}, Norio Shigematsu²

¹ 阪市大・院理・地球, ² 産総研

¹Dept. Geosci., Osaka City Univ., ²GSJ, AIST

中央構造線をまたぐようにして掘削されたGSJ 飯高赤桶観測井コアには、中央構造線に近づくにつれてマイロナイトからウルトラマイロナイトへと変化していく様子が克明に記録されており、地殻における延性剪断帯の発達過程の研究には最適な試料である。中央構造線のごく近傍から回収された緑色片岩相花崗岩マイロナイトにおいて、転位クリープで変形した石英集合体（458 m 深度）と粒界すべりで変形したもの（473 m 深度）が認められた。前者はマイロナイト線構造に垂直な方向に集中をもつガードルタイプの石英ファブリックを示すのに対して、後者は明瞭なファブリックパターンを形成しない。石英の平均粒径はそれぞれ、 $2.8 \mu\text{m}$ と $2.3 \mu\text{m}$ である（粒径の測定はSEM-EBSDで方位マッピングで得られた画像をImageJを用いて行った）。転位クリープと拡散クリープの構成則から計算した粒径・流動応力・歪速度の関係から、変形機構領域境界の粒径を $3 \mu\text{m}$ とした場合、 300°C では歪速度： 10^{-10} s^{-1} 、流動応力： 700 MPa 、 400°C では歪速度： 10^{-8} s^{-1} 、流動応力： 600 MPa と計算される。この歪速度は同時期に変形した領家変成岩類での見積りより、3-5桁程度速い。このことは地殻の変形が延性剪断帯に局在化したことを示唆する。歪速度が 10^{-9} s^{-1} の場合、幅1 mの剪断帯の変位速度は30 mm/年、 10^{-8} s^{-1} の場合では300 mm/年となり、A級活断層の変位速度やGPSの連続観測から見積られる変位速度に比べて1桁程度速い。このことは花崗岩マイロナイトで非常に早い歪速度をもつ領域は幅1 m以下であるか、各変形機構の構成則で用いたパラメータが非現実的なものであるかのどちらかを示している。

キーワード: 歪速度, 差応力, 拡散クリープ, 転位クリープ, マイロナイト, 内陸地震

Keywords: strain rate, differential stress, diffusion creep, dislocation creep, mylonite, inland earthquake

SSS028-09

会場:302

時間:5月26日 10:45-11:00

ラマン分光分析を用いた MTL 近傍・三波川帯での剪断熱検出 Detection of Shear Heating from the Sanbagawa Belt nearby the Median Tectonic Line by using Raman Spectral Analysis

森 宏^{1*}, Wallis Simon¹, 藤本 光一郎², 重松 紀生³
Hiroshi Mori^{1*}, Simon Wallis¹, Koichiro Fujimoto², Norio Shigematsu³

¹ 名古屋大・環境・地球, ² 東学大, ³ 産総研

¹ Earth & Planetary Sci., Nagoya univ., ² TGU, ³ GSJ, AIST

Recognition of shear heating has potential to help in estimating the shear stresses that operate on major faults when they move. Surface heat-flow and fission track thermochronology in the vicinity of the major San Andreas Fault show no clear evidence for major shear heating. This is commonly used to infer a much lower shear stress than that expected based on rock deformation experiments. The cause of this discrepancy between experiment and observation remains unresolved. The Median Tectonic Line (MTL) is the largest on-land fault of the Japanese Islands with a movement history from the Cretaceous to the present, and is a suitable candidate for studies of shear heating and to investigate whether a low degree of shear heating such as that associated with the San Andreas Fault is a general characteristic of regional long-lived faults. Within the Ryoke belt to the north of the MTL, a progressive younging of fission track ages towards the MTL suggests shear heating was important. However, the thermal structure in the Sanbagawa belt to the south of the MTL has not been determined and the detailed thermal structure around the fault is not known. Our study aims to fill these gaps in our knowledge by clarifying the peak temperature attained in the Sanbagawa belt.

A semi-continuous core passing through the MTL was recently drilled by AIST in the Kii peninsula. The availability of this core enables us to conduct detailed analyses in key samples close to the fault. To study the broader thermal structure, we also sampled on a kilometer scale and studied the regional structure using field mapping techniques. Pelitic rock is the main rock facies of the Sanbagawa belt in the study area. This pelite was metamorphosed at temperatures < 400 °C and minerals suitable for typical Fe⁺⁺-Mg exchange thermometers are poorly developed. As an alternative way of estimating peak temperature, we used Raman spectral analysis of carbonaceous material. Results show a consistent regional temperature of 341 °C - 348 °C at distances between 400 m and 4 km from the MTL. There is a significant rise within 200 m from the MTL to temperatures of 362 °C - 408 °C. These results show no evidence for a heat-anomaly on km-scales to the south of the MTL, but do show a clear temperature increase near the MTL. The spatial association of the heat-anomaly with the fault implies shear heating, but the anomaly is only observed in a narrow zone close to the MTL.

To evaluate these results in terms of shear heating on the MTL, we compared them to the temperature distributions calculated using simple analytical solutions for one-dimensional conductive heat flow with a planar heat source. Results of calculations for single fault movements show a clear temperature increase in a narrow zone close to the fault (< ~100 m from the fault), but the duration times at high temperature nearby the fault are short (< ~100 years). In contrast, results of calculations for constant slip rates show that high temperatures can be achieved near the fault if sufficient time has elapsed: of the order of 0.5 million years since the onset of fault movements. However, in this case the associated thermal anomalies are broad and developed over distances of > ~10km from the fault.

The thermal data obtained around the MTL show the characteristics different from the San Andreas Fault, and suggest that the shear heating can be generated by movements of regional long-lived faults. The heat anomaly in the Sanbagawa belt nearby the MTL and the results of the thermal calculations suggest that not only the heat conduction but also the other mechanisms involved with the heat-transport of shear heating.

Keywords: shear heating, Median Tectonic Line, Sanbagawa belt, boring core, raman spectral analysis, carbonaceous material

SSS028-10

会場:302

時間:5月26日 11:00-11:15

中央構造線ボーリングコアの脆性小断層における応力履歴と鉱物組成との対比 Correlation stress history with mineral composition at small brittle faults in the borehole core penetrating the MTL

田中 伸明^{1*}, 藤本 光一郎¹, 重松 紀生²

Nobuaki Tanaka^{1*}, Koichiro Fujimoto¹, Norio Shigematsu²

¹ 東京学芸大学, ² 産業技術総合研究所

¹Tokyo Gakugei Univ., ²AIST

日本の陸上で最大の断層である中央構造線(以下MTL)は、長い履歴を持ち、延性領域から脆性領域までの異なる条件で形成した断層岩が分布する。その解析は、物理条件の違いによる多様な断層の挙動の理解につながる。

本研究が対象としている飯高赤桶坑井は、産総研が東南海・南海地震予測のために掘削した坑井(掘削長600m)であり、掘削深度473.9mでMTLを貫通し、上盤に領家帯の花崗岩類、下盤に三波川帯の変成岩が分布する。花崗岩類は、マイロナイト化の後、正断層性の応力場、南北方向の圧縮場の順に、脆性変形の応力場の変遷を経験し、現在の応力場である東西方向の圧縮場へ至ったと推定されている(重松ほか、日本地質学会第117年学術大会での講演, 2010)。さらに、変形構造の解析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されている(藤本ほか、日本地質学会第117年学術大会での講演, 2010)。

本報告では、藤本ほか(2010)の行なった解析のうち、特に変質鉱物についての解析を深化させ、過去の変形・変質環境や履歴のより詳細な復元を目的とする。

ボーリングコアに多数存在する、応力解析済みの脆性の小断層のすべり面から断層物質を採取し、XRDによる鉱物組成の解析を行なった。各深度範囲での試料採取数は、深度140m~220mで約40試料、深度220~320mで約80試料、深度300m~407mで約90試料、深度407m~473.9mで約60試料である(深度範囲の区分は藤本ほか(2010)による)。

解析の結果から、以下のことが確認された。

(ア) すべり面上の鉱物組成と周囲の母岩の鉱物組成とは、構成鉱物はほぼ同じだが、各々の量比が異なる。

(イ) すべり面上の鉱物組成は、巨視的な亀裂系(深度範囲にして数十cm~数十m)単位の熱水活動を反映する。

(ウ) 各すべり面での応力解析結果と鉱物組成とは、一対一対応ではない。すべり面上の鉱物組成は、すべり面形成時あるいはそれ以後の熱水活動の影響を複数回受けている可能性がある。

上記の(ア)~(ウ)を前提として、以下のことが推察された。

(エ) 正断層性の応力場でできたすべり面で、形成後の熱水活動の影響を受けていない場合、すべり面上の鉱物組成は石英が卓越し、炭酸塩鉱物は少ない。

(オ) 南北圧縮場でできたすべり面で、形成後の熱水活動の影響を受けていない場合、すべり面上の鉱物組成は炭酸塩鉱物が卓越し、濁沸石は比較的多く含まれる。

(カ) 東西圧縮場(現在の応力場)でできたすべり面では、すべり面上の鉱物組成は、石英が多いが炭酸塩鉱物も相当量存在し、濁沸石はほとんど見られない。

今後、以上の推察をより確かなものにするために、各応力場でできたすべり面の構造観察、特に複数回熱水活動の影響を被ったと推察されるすべり面の構造観察をする必要がある。

キーワード: 中央構造線, 断層, ボーリングコア, 応力履歴, 断層物質, 鉱物組成

Keywords: Median Tectonic Line, Fault, Borehole core, Stress history, Fault material, Mineral composition

SSS028-11

会場:302

時間:5月26日 11:15-11:30

圧力溶解クリープによる地殻上部断層帯に沿う高速変形 High-speed deformation by pressure solution creep along fault zones in upper crust

竹下 徹^{1*}

Toru Takeshita^{1*}

¹ 北海道大学

¹ Hokkaido University

近年、内陸地震の繰り返し発生メカニズムが多くの研究者により議論されるほか（例えば飯尾、2009）、断層帯を含めて内陸地震を発生している地殻上部の脆性—塑性転移点付近の震源分布、地震波速度構造および水の存在度などが様々な地球物理学的観測から明らかとなって来た。従来、演者は地殻深部レベルで変成した変成岩の上昇過程・機構を研究して来たが、最近変成岩が脆性—塑性転移点を越えて上昇する際の変形過程・機構は、内陸地震の発生過程・機構を考える上で大きな示唆を与えていることに気付いた。具体的には、四国中央部に分布している三波川変成岩では、D2 時相が脆性—塑性転移点を越えて上昇する時の変形時相に対応するが、実際の所 D2 時相に多数の低角正断層が形成されており、伸張テクトニクスにより三波川変成岩が地殻上部レベルに上昇したことが推測される。ここで、D2 時相の正断層は石英のスリッケンファイバーを伴うことで特徴付けられるが、このような断層は過去に地震を生じた断層ではなく、その変位速度が圧力溶解クリープに律則され安定すべりを起こした断層である。その他、試料スケールでは新期の白雲母や緑泥石の発達で特徴付けられるシェアバンド（微小正断層）、アスペクト比の非常に大きい歪フリッジおよびランダムな c 軸ファブリックを示す石英集合体等の微細構造は、いずれも圧力溶解あるいは化学反応に律則されるクリープがかなり速い速度で脆性—塑性転移点付近の岩石中で生じていることを示唆する。

そもそも、従来考えられて来た大陸地殻の強度断面において、地殻浅部の摩擦すべりに支配される破壊強度はあくまで地震発生に必要な差応力である。しかし、そのような臨界の差応力は現実の内陸地震の震源断層においては数千年間に一回、地震発生時に達成されるだけで、殆ど期間（つまり、inter-seismic period）差応力は破壊強度よりもはるかに低いレベルにある。このような低差応力下では従来から圧力溶解クリープが生じることが知られているが、問題は圧力溶解や化学反応に律則されるクリープがどのくらい速く生じるかである。例えば、もし断層帯で圧力溶解クリープが十分速く生じるのであれば、断層帯では永久に差応力が高まることはなく地震は起こらない。しかし、現実には断層帯の組織は極めて不均質で、非常に細粒で新期の白雲母や緑泥石（フィロ珪酸塩）が微小断層に沿って著しく発達している成熟した断層岩と、あまり変形・変質しておらず母岩の粗粒な組織を残す部分が混在する。このような場合、前者の岩石では粒径依存の圧力溶解クリープが速い速度で起こるほか、新期に形成されたフィロ珪酸塩中で底面すべりが容易なため（化学反応軟化）、見かけの摩擦係数が著しく低下し、従来の破壊強度の 1/10 程度の差応力で安定すべりが生じることが予想されている（例えば Bos and Spiers, 2002）。一方、後者の岩石中では周囲の岩石が著しく速く圧力溶解で変形するため、応力集中が生じ、ついには地震性破壊に至ると考えられる。この過程は何度も繰り返され、内陸地震の繰り返し発生を説明する。ここで、後者の岩石が沈み込み帯のアスペリティーに対応するものと考えられ、この内陸地震の繰り返し発生モデルが、内陸地震のアスペリティーモデルとなる（例えば Jefferies et al., 2008）。

キーワード: 圧力溶解クリープ, 断層帯, 内陸地震の繰り返し, 大陸地殻の強度断面, 化学反応軟化, アスペリティー

Keywords: pressure solution creep, fault zones, repetition of inland earthquakes, strength profile of the continental crust, reaction softening, asperity

SSS028-12

会場:302

時間:5月26日 11:30-11:45

東北日本弧のレオロジー断面：岩石力学実験と地球物理観測の統合 Rheology profile across the Northeastern Japan

武藤 潤^{1*}

Jun Muto^{1*}

¹ 東北大学大学院理学研究科地学専攻

¹Dept. Earth Sci., Tohoku Univ.

Recent seismological and geodetic observations have shown the current lithospheric deformation of the northeastern Japan arc (e.g., Hasegawa et al., 2005). These observations have shown a significant localization of GPS strains and concentration of shallow microseismicity along the Ou Backbone Range by the presence of hot upwelling flow including partial melts and water from mantle wedge beneath the volcanic front. Furthermore, the number of reverse slip earthquakes have been generated along steep-dipping reverse faults implies the reactivation of pre-existing faults under the presence of overpressured fluids (Sibson, 2009). However, despite close distributions between the presence of fluids (water and melt) and reactivated fault systems on recent earthquakes, the effects of fluids and pre-existing fault systems on the present-day lithospheric deformation and earthquake generation have not been quantitatively evaluated yet.

In order to predict the present-day lithospheric strengths across the NE Japan, I construct two dimensional strength profiles using the petrological model and geophysical observations for NE Japan combined with recent development in rock mechanics. The calculated strength profiles are compared with the distribution of microseismicity and geodetic strain field in the NE Japan. Based on the profile, I discuss the possible roles of fluids and pre-existing fault systems on fault reactivation.

The lithospheric strengths are calculated using frictional and ductile constitutive laws as a function of temperature, pressure and strain rates of the lithosphere. A petrological model of the NE Japan based on the laboratory measurement of seismic velocity by Nishimoto et al (2005) was adopted: granite for the upper crust, hornblende gabbro for the lower crust, and spinel lherzolite for the upper mantle. The geodetically determined horizontal east-west strain rate of about 10^{-7} /yr (Miura et al., 2004) was used to calculate the lithospheric strengths along the seismic profile across the Northern Honshu, Japan by Iwasaki et al. (2001).

The calculated strength profiles explain patterns of present-day geodetic strain accumulation and shallow seismicity along the Ou Backbone Range. Laboratory derived flow laws also reproduce the presence of weak zones by mechanisms likely operated in the lithosphere (e.g., partial melting and shear zone development). The strain localization into weak zones efficiently accumulates elastic strains at the base of upper seismogenic faults locked during interseismic periods (e.g. Ando and Okuyama, 2010). This may result in the reactivation of pre-existing fault systems in the NE Japan.

キーワード: 東北日本弧, レオロジー, 強度断面, 地震, 岩石力学

Keywords: Northeastern Japan, rheology, strength profile, earthquake, rock mechanics

SSS028-13

会場:302

時間:5月26日 11:45-12:00

東北日本脊梁山脈周辺における断層形成と山地形成のモデル化 Modeling fault development and mountain building along the Backbone range, NE Japan

芝崎 文一郎^{1*}, 岡田 知己², 吉田 武義², 松本 拓己³, 武藤 潤²

Bunichiro Shibazaki^{1*}, Tomomi Okada², Takeyoshi Yoshida², Takumi Matsumoto³, Jun Muto²

¹ 建築研究所国際地震工学センター, ² 東北大学大学院理学研究科, ³ 防災科学技術研究所

¹IISEE, BRI, ²Tohoku University, ³NIED

In northeastern Japan, many intraplate earthquakes occur on preexisting normal faults that are reactivated as reverse faults during shortening deformation (Sato, 1994). Stress-concentration processes, caused by the presence of heterogeneous rheological structures, are important for the reactivation of particular faults. It is acknowledged that the presence of aqueous fluids weakens the crustal rock beneath the Ou Backbone range to a greater extent than that in the surrounding area; this leads to shortening deformation in the lower crust beneath the range, which in turn induces the development of faults in the upper crust (e.g., Hasegawa et al., 2003). Okada et al. (2010) found a distinct low-velocity region below the focal area of the 2008 Iwate-Miyagi inland earthquake and suggested that the crustal fluids were related to the occurrence of this earthquake. A crustal thermal structure also affects the generation process of inland earthquakes. Yoshida et al. (2005) pointed out that crustal thermal structures have been affected by intensive magma intrusions to form large magma storages beneath the late Miocene to Pliocene calderas. To model fault development and mountain building in northeastern Japan, we need to consider crustal thermal structures, the presence of aqueous fluids, and preexisting weak faults.

We model fault development and mountain building all over northeastern Japan by considering viscoelasticity and elastoplasticity using a finite element code (Shibazaki et al., 2008). Recently, dense geothermal observations were carried out using Hi-net boreholes (Matsumoto, 2007). As a first step, we consider a geothermal structure based on Hi-net geothermal observations (Matsumoto, 2007) and the geothermal gradient data provided by Tanaka et al. (2004). On the basis of the rheological model developed by Muto (2010), we consider power-law creep for three layers: the upper crust (wet quartzite), the lower crust (wet anorthite), and the uppermost mantle (wet olivine). We also set the frictional angle to 15 degree. By giving an E-W contraction velocity of 0.2 cm/year, we examine the manner in which faults develop and mountain building occurs. Numerical results show that east- and west-dipping reverse faults develop in the high thermal gradient regions, and mountains that correspond to the Ou Backbone range are built up. In some areas, simulated fault geometry is not consistent with the observed fault geometry. For example, the strain concentration zone in the northern Miyagi prefecture cannot be reproduced in the model. To model the strain concentration zone in this region, the effects of water on the model of crustal deformation should be taken into account. We report the numerical results considering the non-uniform distribution of water fugacity and frictional strength.

キーワード: モデル化, 奥羽脊梁山脈, 山地形成, 断層形成, 熱構造, レオロジー

Keywords: modeling, Ou Backbone range, mountain building, fault development, thermal structure, rheology

SSS028-P01

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 14:00-16:30

日光・足尾地域の詳細な地震活動

Detailed seismic activity beneath the Nikko-Ashio area revealed by a tomographic analysis

萩原 弘子^{1*}

Hiroko Hagiwara^{1*}

¹ 東京都庁

¹Tokyo Metropolitan Government

The Nikko-Ashio area, the northwestern part of Tochigi prefecture, is one of the most seismically active regions in Japan. Tectonic background in the region is dominated by the Pacific plate subducting westward from the Japan Trench. The area is located on the southeast end of the volcanic front expanding from the Tohoku to the Kanto. Active volcanoes such as Mt. Shirane and Mt. Nantai and also active faults such as the Uchinokomori fault are in the region. A large amount of shallow earthquakes about 6,000 ~ 8,000 a year have been observed around active faults by the routine observations of the Earthquake Research Institute (ERI). The specific characteristics of the activity are as follows: 1. Earthquakes are mainly located in two regions. 2. Earthquakes separate into clusters. 3. Most earthquakes occur within a depth of 15 km. 4. The distribution tends to shallower toward Mt. Shirane. 5. Obvious SxS and SxP phases reflected from a crustal discontinuity are in the seismograms. 6. Deep low frequency earthquakes at depths of 20 to 40 km occur beneath the region.

Recently, many researchers have investigated what factors cause inland crustal earthquakes. Understanding of the Nikko-Ashio earthquakes will provide information concerning the construction of solutions.

To now we conducted time series analyses and travel time analyses for Nikko-Ashio data. We have obtained some information concerning velocity structures and seismic distribution. Low-frequency earthquakes have occurred about one a month, but sometimes more than dozens of them occur at a time. After that, shallow earthquakes obviously increase. From a tomographic study we have found that low-frequency earthquakes occur at the edge of high Vp/Vs areas and high Vp/Vs, low Vp and low Vs areas spread widely at depths of 20 to 30 km. We interpret that low-frequency earthquakes occur as the results of ascending magma flow and intermittent rapid magma flow causes many low-frequency earthquakes at a time. Upwelling magma flow accumulates at a depth of ~20 km and the dehydration from the magma weakens the strength of the crust and causes shallow earthquakes.

In this report, we investigate precise earthquake distribution to obtain an improved understanding of these systems connected with magma or fluid. In the seismograms, there are many similar earthquakes. We adopt tomoDD inversion method to the travel time data with those wave correlation data during the period from April, 2002 to December, 2009.

キーワード: 震源分布, 低周波地震, マグマ, 流体, 速度構造

Keywords: seismic distribution, low frequency earthquake, magma, fluid, velocity structure

SSS028-P02

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 14:00-16:30

三重県飯高赤桶コアを構成する中央構造線カタクラサイト中の変形の進展に伴う著しい元素移動

Migration of elements accompanied by the development of cataclasites in borehole penetrating the Median Tectonic Line

渡部 悠登^{1*}, 竹下 徹¹, 重松 紀生², 藤本 光一郎³, Python Marie¹

Yuto Watanabe^{1*}, Toru Takeshita¹, Norio Shigematsu², Koichiro Fujimoto³, Marie Python¹

¹ 北海道大学, ² 産総研, ³ 東京学芸大学

¹Hokkaido University, ²National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ³Tokyo Gakuai University

領家帯と三波川帯の境界となる中央構造線では、上盤の領家帯岩石中で温度の低下とともに変形が局所化し、その結果マイロナイトからカタクレーサイトまでの多様な断層岩が見られる。本研究では、調査対象として三重県にある飯高赤桶観測井のボーリングコアサンプルを用い、蛍光 X 線分析による体積変化、元素変動の記載を行った。調査対象となったコアサンプルは、全長 600m、三波川帯の上部破碎帯まで掘削された三重県飯高赤桶観測井から得られたものである。また、実験で用いた断層岩サンプルは、中央構造線の深度 317m から 473m 間のものであるが、ボーリングコアは深度 473.9m で中央構造線を貫いている。したがって、サンプルは全て領家帯に属しており、断層岩の原岩はトーナライトである。なお、463m 付近では 1m 幅でフィロナイト (緑泥石濃集岩) が見られた。すべての岩石は流動変形を受けてマイロナイトとなっているが、その後温度低下の過程で様々な程度にカタクレーサイト化を受けている。サンプルをカタクレーサイト化の程度で分類するために、肉眼観察、および薄片観察を行った。その結果、試料を比較的未変形であり原岩に近いもの、また断層岩をカタクレーサイト化の程度の違いにより弱変形、中変形、強変形 (フィロナイト) した断層岩、の合計 4 つのグループに分類した。これらの断層岩カタクレーサイトの体積変化、元素変動を明らかにするため、蛍光 X 線分析による全岩化学組成分析を行い、アイソコン法 (Grant, 1986) による検討を行った。本研究では、断層岩内の不動な元素として、Al を用いた。体積変化については、断層岩の密度変化が無いと仮定し、次式により見積もりを行った。

$V = [(1/S) - 1] \times 100$ このとき S はアイソコン図の原点と不動である元素のプロットを結んだ直線の傾きである。各元素の変動については、元素変動率を次式で求めた。(鹿園ほか, 2007)

元素変動率 = $(El_f / Al_f) / (El_h / Al_h)$ このとき El は任意の元素、Al は不動な元素であり、f, h は断層岩、比較対象となる岩石である。

アイソコン法による解析は、「最も未変形な原岩に近いトーナライトと弱変形断層岩」、「弱変形断層岩と中変形断層岩」、「弱変形断層岩と強変形断層岩」の 3 種の組み合わせについて行った。

最も未変形な原岩に近いトーナライトと弱変形岩との組み合わせでは、29.8 % の体積増加が見られた。また主要元素の変動については、 K_2O (3.78), LOI (1.49), SiO_2 (1.46), Na_2O (1.28) が増加を示し、 TiO_2 (0.30), MgO (0.33), P_2O_5 (0.36), $FeO+Fe_2O_3$ (0.50), MnO (0.55), CaO (0.63) の減少を示した。弱変形断層岩と中変形断層岩の組み合わせは、7.6 % の体積減少を示した。また主要元素変動については、 TiO_2 (3.82), MgO (3.19), P_2O_5 (2.56), MnO (2.01), $FeO+Fe_2O_3$ (1.90), CaO (1.74), LOI (1.31) が増加を示し、 K_2O (0.76), Na_2O (0.80), SiO_2 (0.80) が減少した。弱変形断層岩と強変形断層岩の組み合わせについては、体積変化は 22.8 % の体積減少が見られた。主要元素の変動は、 MgO (8.76), TiO_2 (2.81), CaO (2.51), $FeO+Fe_2O_3$ (2.44), MnO (2.34), LOI (2.00), P_2O_5 (1.89) が増加し、 K_2O (0.60), Na_2O (0.56), SiO_2 (0.50) が減少を示した。アイソコン法で解析した主要元素変動の特徴は、弱変形断層岩に対する中変形、強変形断層岩の 2 組の元素の増減が似ている。また、最も未変形な原岩に近いトーナライトと弱変形断層岩間の元素変動と上の 2 組の元素変動は、全岩化学組成分析で多くの重量 % を占める元素について、増減が逆の特徴を示す。これらの断層岩の元素変動に対応する鉱物増減 (形成および消失) を考える。最も未変形な原岩に近いトーナライトから弱変形断層岩では、 K_2O の増加が白雲母の形成と、 SiO_2 の増加は石英の形成と対応していると考えられる。また、弱変形断層岩から中変形、強変形断層岩に関しては、 CaO の増加は方解石の形成と、また MgO と $FeO+Fe_2O_3$ の増加は緑泥石の増加と対応していると考えられる。消失した鉱物については、十分考察できていない。今後、薄片観察による鉱物同定をもとに、微量元素も含めた元素変動と結果として生じる断層岩中の鉱物の増減との対応を明らかにしていく必要がある。

SSS028-P03

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 14:00-16:30

断層深部延長におけるイントラフォリアル褶曲の発達 Development of intrafolial folds at deeper extension of seismogenic fault

金子 英亮^{1*}, 武藤 潤¹, 長濱裕幸¹

Hideaki Kaneko^{1*}, Jun Muto¹, Hiroyuki Nagahama¹

¹ 東北大・理・地圏

¹ Inst. Geol. Paleontol., Tohoku Univ.

内陸地震の発生過程を理解しようとしたときに、脆性-塑性遷移領域での岩石の塑性変形の性質、この領域の破壊発生過程、そしてこの領域での断層内部構造を理解する必要がある。この時、かつて脆性-塑性遷移領域において大地震を起こした断層が、上昇削剥し現在地表に露出しているような場所を解析するのが都合がよい。畑川破砕帯は、これまで塑性変形と破壊の関係を示す痕跡 (Takagi et al., 2000) がみつかったことから、かつての震源域がそのまま地表に露出している可能性が高い (重松ほか, 2003)。

我々は、畑川破砕帯に分布する花崗岩マイロナイト中に、イントラフォリアル褶曲を発見した。このイントラフォリアル褶曲は、もともと層状構造を持たない均質な岩石に生成したという点で、堆積岩や変成岩中に見られる普通のイントラフォリアル褶曲とは基本的に異なっている (福留, 1986)。福留 (1986) はマイロナイト中のイントラフォリアル褶曲は、ひずみ速度の不連続性により生じる Kelvin-Helmholtz 不安定性により形成される可能性を指摘した。断層深部延長において、そのような塑性不安定性がすべりの加速と固着している断層上部における応力集中を引き起こし、地震発生につながる事が示唆される。

本研究では、畑川破砕帯に露出する花崗岩ウルトラマイロナイトの微細構造及び、イントラフォリアル褶曲構造を示す石英多結晶体の格子定向配列 (LPO) 及び粒径を走査型電子顕微鏡 - 電子後方散乱回折法 (SEM-EBSD) を用いて測定した。得られた微細組織をもとに変形条件を推定し、震源断層に応力集中を引き起こす断層深部延長での塑性不安定性の機構 (イントラフォリアル褶曲の形成機構) を明らかにすることを目的とする。

イントラフォリアル褶曲はマイロナイトの面構造に垂直で線構造に平行な面で観察される。マイロナイトは石英多結晶と細粒な石英、長石、雲母を含む基質部の互層からなり、褶曲は石英多結晶体の層に発達する。褶曲形態は非対称であり、波長が 1cm 以下というオーダーで、褶曲の波長と層厚の比は 1.2 - 4.5 である。褶曲部分の石英多結晶は再結晶粒のみで構成され、LPO を持つことから転位クリープによって再結晶したものである。EBSD 測定から石英 LPO パターンはひずみ楕円の Y 軸に集中する Y 集中 LPO を示す。EBSD 法を用いて粒径を測定し、平均粒径は $6.32 \pm 3.86 \mu\text{m}$ ~ $14.27 \pm 6.67 \mu\text{m}$ であった。これに対して、細粒な基質部の粒径は最大 $5 \mu\text{m}$ 程度であり、明瞭な LPO を持たないことから拡散クリープによって変形したと考えられる。鉱物組み合わせと石英 LPO パターンから、変形温度の見積もりを行った。角閃石の塑性変形が観察され、石英多結晶体の LPO パターンが Y 集中を示すことから、本研究のマイロナイト試料は 450 ~ 500 °C で変形したと考えられる (Toy et al., 2008)。得られた粒径から Stipp and Tullis (2003) の粒径応力計を用いて差応力を、Hirth et al. (2001) の流動則を用いてひずみ速度の見積もりを行った。褶曲した石英多結晶体の差応力は 81 ~ 154 MPa であり、ひずみ速度は 10^{-12} ~ 10^{-10} /s と見積もられる。このひずみ速度は、測地学的に求められた現在の東北日本における東西短縮ひずみ速度 (約 10^{-15} /s) (Miura et al., 2004) と比較して最大 5 桁速い。イントラフォリアル褶曲はひずみ速度の不連続性により発達することから (福留, 1986)、マイロナイト中の細粒基質部はさらに速いひずみ速度で変形していた可能性がある。このような断層の深部延長におけるひずみの集中が固着している断層上部に応力集中を引き起こし、地震発生につながるのではないかと考えられる。

キーワード: イントラフォリアル褶曲, 塑性不安定性, ウルトラマイロナイト, 畑川破砕帯, 内陸地震

Keywords: intrafolial fold, plastic instability, ultramylonite, Hatagawa Fault Zone, inland earthquake