

11-3 陸域震源断層深部の物質科学と地震発生

Geological and experimental studies on deeper extension of inland earthquake faults and seismogenesis

産業技術総合研究所

Geological Survey of Japan, AIST

陸域の地震の発生サイクルや発生過程を解明する上で、深さ10-15km、温度300℃前後と想定される断層深部の震源域の実態やそこでの物理的・化学的過程を明らかにすることは重要である。我々は断層深部が露出している畑川破碎帯などの詳細な地質調査と試料解析、断層深部の環境で変形実験などを進めており、現時点で得られているいくつかの知見を紹介したい。

＊陸域地震の震源域の実態把握

畑川破碎帯は、阿武隈山地の東部をほぼNNW-SSE方向に直線的に約100km続く大きな断層である。白亜紀の花崗岩及び花崗閃緑岩などを母岩として、幅100m 前後の連続性のよいカタクレサイト帯がほぼ南北に延び、それを取り囲んで最大幅1kmの左横ずれを示すマイロナイト帯と周囲の変形の弱い岩体中の幅数mmから数mの小剪断帯が分布する（第1図）。特にマイロナイト帯が最も厚く分布する昼曾根周辺では、マイロナイトは石英の微細構造や共存する二種類の長石の化学組成などをもとに高温マイロナイト（300-400℃で形成）と低温マイロナイト（250-300℃で形成）に分けることができる。また、カタクレサイトは変質鉱物組み合わせなどから220-300℃と推定され、カタクレサイトや低温マイロナイトは陸域大地震の発生する温度範囲と重なる。畑川破碎帯本体を作るカタクレサイトは、少なくとも40kmは非常に連続性がよく、通常地震断層の破壊面の大きさを考えるとM7クラスの地震の破壊域に相当する。

特に低温マイロナイトは、第2図のように塑性変形と破壊の共存組織が見られることや第3図のようなシュードタキライトが存在することなどから、脆性-塑性遷移領域で形成され、地震発生に大きな役割を果たすと考えられる。第1図のように低温マイロナイトが広く分布するのは調査した断層の走向沿い40kmのうち6km前後の範囲に限られている。低温マイロナイトの分布域には熱水鉱物脈が分布するほか、塑性変形の進行に伴い水の影響が大きくなっていることが岩石の化学組成や酸素同位体の研究から示唆されており（第4図）、流体がその分布と密接に関連している可能性もある。このような断層の走向方向沿いの不均質は地震の発生を考える上で大きな影響を持つと考えられる。

＊塑性変形から地震発生へいたる物理過程

畑川破碎帯の周縁部に分布する小剪断帯は塑性変形と破壊の組織をよく保存している。それらの詳細な解析から、塑性変形の集中部に微小空洞が形成され、それが連結することで破壊に至るというモデルを提案した（第5図）。加速すべりが地震を引き起こすという作業仮説の一部に物理的な意味づけを与えるものである。また、塑性変形集中部の組織観察から、長石が下部地殻の変形特性に重要な役割を果たしていることを明らかにし、現在その力学的性質の解明を進めている。

＊高温高压条件での変形実験

下部地殻上部環境下での断層物質の変形機構や物性測定を行うためにガス圧式高温高压岩石変形実験装置を開発し、今まで国内では実施不可能であった温度圧力条件下での摩擦・変形実験が可能となった（第6, 7図）。また、このガス圧式装置による高温高压下での岩石の電気伝導度・弾性波速度測定手法を確立した。

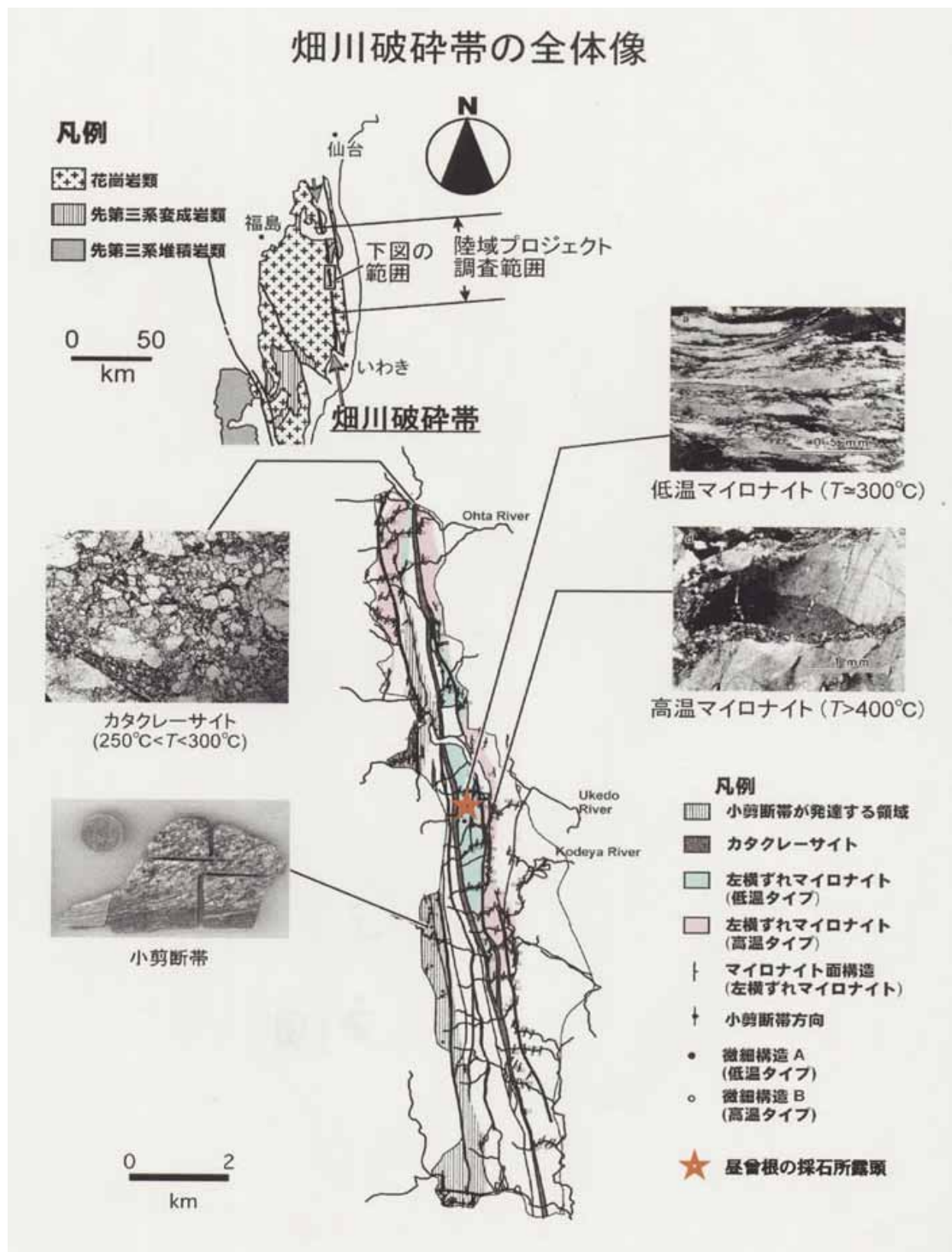
断層深部に特有の岩石であるマイロナイトは、周囲の母岩である花崗岩と比較して破壊までの変形挙動は同じであるが、すべりに依存する摩擦則のパラメータのうちピークストレス（ τ_p ）が小さいこと、また高温高压下では τ_p は大きくなるという特徴があることがわかった。これはバルクとしての断層帯は周囲の母岩（花崗岩）とほぼ同じ弾性的性質をもつが、断層面の形成に必要なエネルギーが小さいことを示している（第8図）。また、石英と長石を用いたすべり実験も行い、600°Cで水を加えた条件で水と長石の化学反応の影響が原因と考えられるすべり軟化を示すことがわかった（第9図）。

謝辞：本研究は科学技術振興調整費総合研究「陸域震源断層の深部すべり過程のモデル化に関する総合研究」の一部として行われており、研究実施でお世話になっている文部科学省地震調査課に深く感謝します。また、本研究は以下のメンバーとの共同研究です：産業技術総合研究所（大谷具幸，重松紀生，増田幸治，新井崇史），東京大学（田中秀実，島田耕史），筑波大学（小林洋二，富田倫明），新潟大学（豊島剛志），防災科学技術研究所（小村健太郎）。最後に予知連絡会でトピックスで取り上げてくださったことに感謝します。

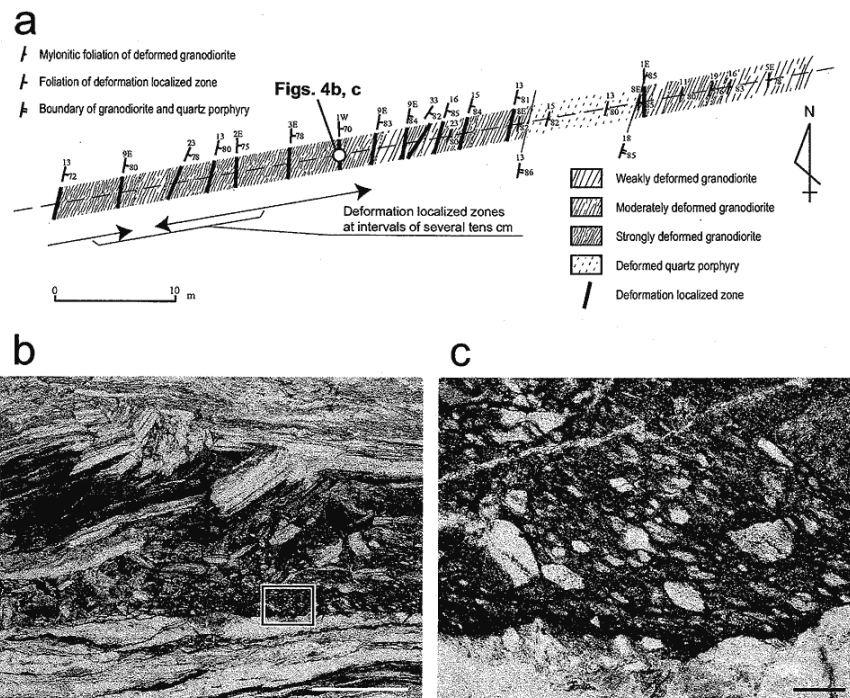
参 考 文 献

- 1) 藤本光一郎、大谷具幸、宮下由香里、重松紀生、田中秀実、小林 洋二、富田倫明, 2001, 地表に露出するかつての震源域一畑川破碎帯を例として, *月刊地球*, 263, pp.332-336.
- 2) Fujimoto,K., Shigematsu,N., Ohtani,T., Miyashita,Y., Tomita,T., Tanaka,H., Omura,K. and Kobayashi,K., 2002, Water rock interaction observed in the brittle-plastic transition zone. *Earth, Planets and Space*, 54, 1127-1132.
- 3) 増田幸治、藤本光一郎, 2001, 断層物質を考慮した高温高压下での摩擦すべり・変形・流動実験, *月刊地球*, 263, 328-331.
- 4) Masuda,K., Fujimoto,K. and Arai,T., 2002, Peak shear strength of mylonite under high-pressure and high-temperature conditions, *Earth, Planets and Space*, 54, 1091-1094.
- 5) Tomita,T., Ohtani,T., Shigematsu,N., Tanaka,H., Fujimoto,K., Kobayashi,Y., Miyashita,Y. and Omura,K., 2002, Development of the Hatagawa fault zone – exhumed brittle-plastic transition zone clarified by geological and geochronological studies, *Earth, Planets and Space*, 54, 1095-1102.

畑川破碎帯の全体像



第1図 畑川破碎帯のうち請戸川を中心とする地域の岩相分布図と典型的な断層岩の写真
Fig.1 Distribution of fault rocks and typical samples along the Hatagawa fault zone, NE Japan.

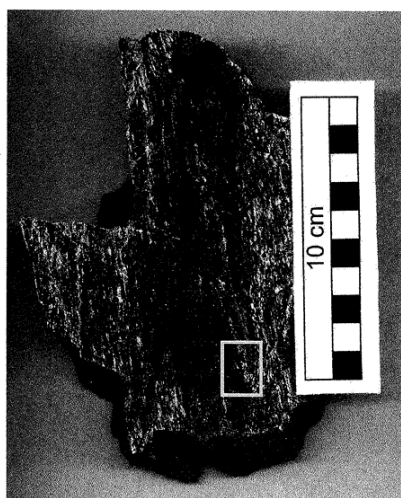


Tomita et al. Fig. 4 (100%)

第2図 (a) 塑性変形と破壊の密接な関係を示す昼曾根の採石所の露頭のスケッチ。60mほどの露頭で花崗岩の塑性変形はかなり不均一であり、強く変形集中した部分に破壊されたカタクレーサイトを伴う。(b) 強く変形集中した部分でマイロナイトが破壊でフラグメント化されている顕微鏡写真。右下のスケールは1mm。(c) マイロナイトのフラグメント(*)がさらにマイロナイト化されている(矢印の先)部分の顕微鏡写真。右下のスケールが1mm。

Fig.2 (a)Lithologic map of an outcrop of mylonite including deformation localized zones, at Hirusone. (b) A crush zone in deformation localized zone. Scale bar is 1mm. (c) A fragment of mylonite (asterisk) is dragged plastically (arrow) in a crush zone. Scale bar is 1mm.

かつての地震性すべりの証拠と考えられる低温マイロナイト中のシュードタキライト

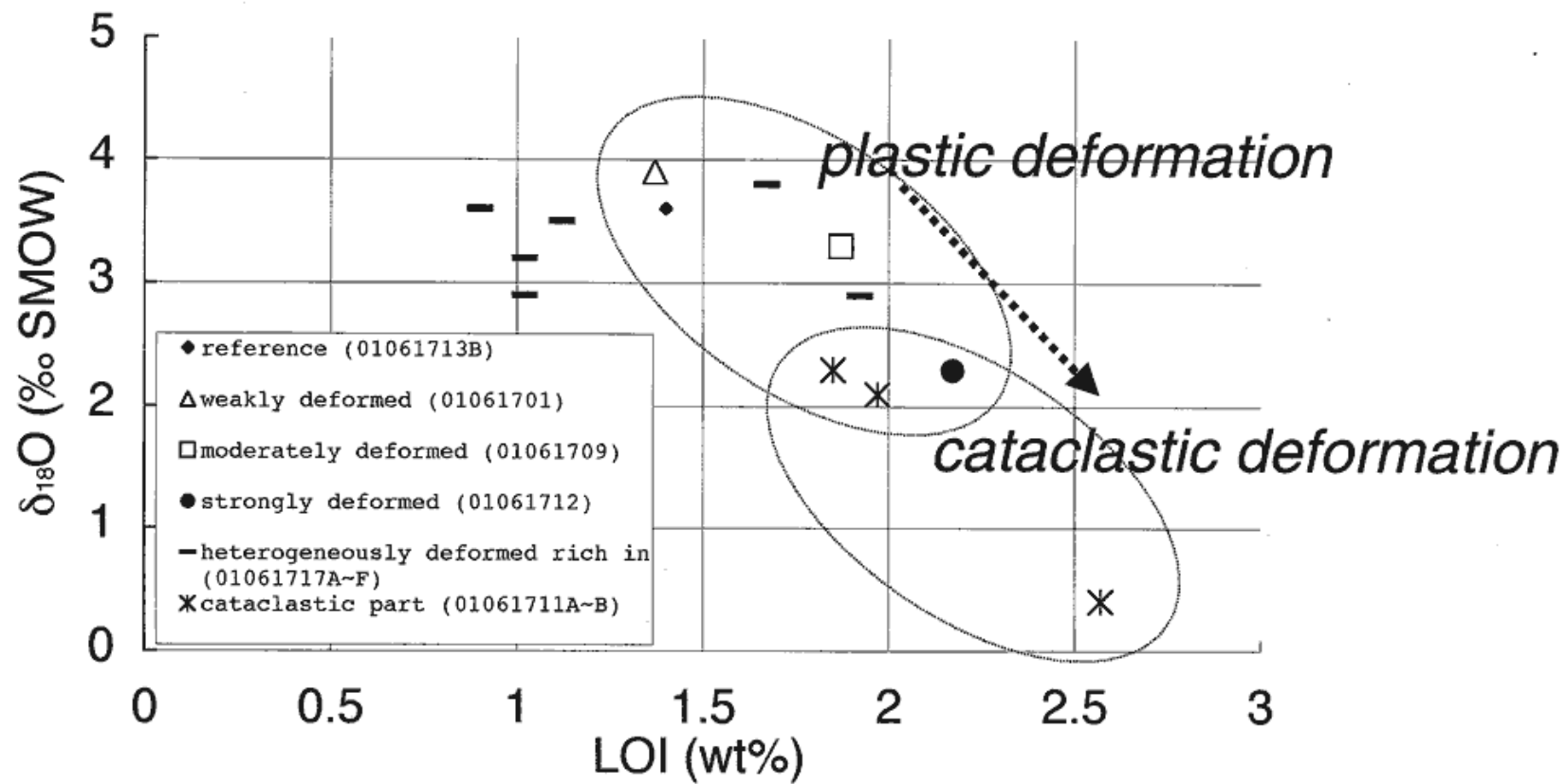


左の試料の顕微鏡写真



第3図 左；シュードタキライトを含むマイロナイトの研磨試料 右；左側の試料のシュードタキライト部の顕微鏡写真（幅は約6mm）。

Fig.3 Mylonite sample including pseudotachylyte vein(left) and photomicrograph of pseudotachylyte vein (the width of the photo is about 6 mm).

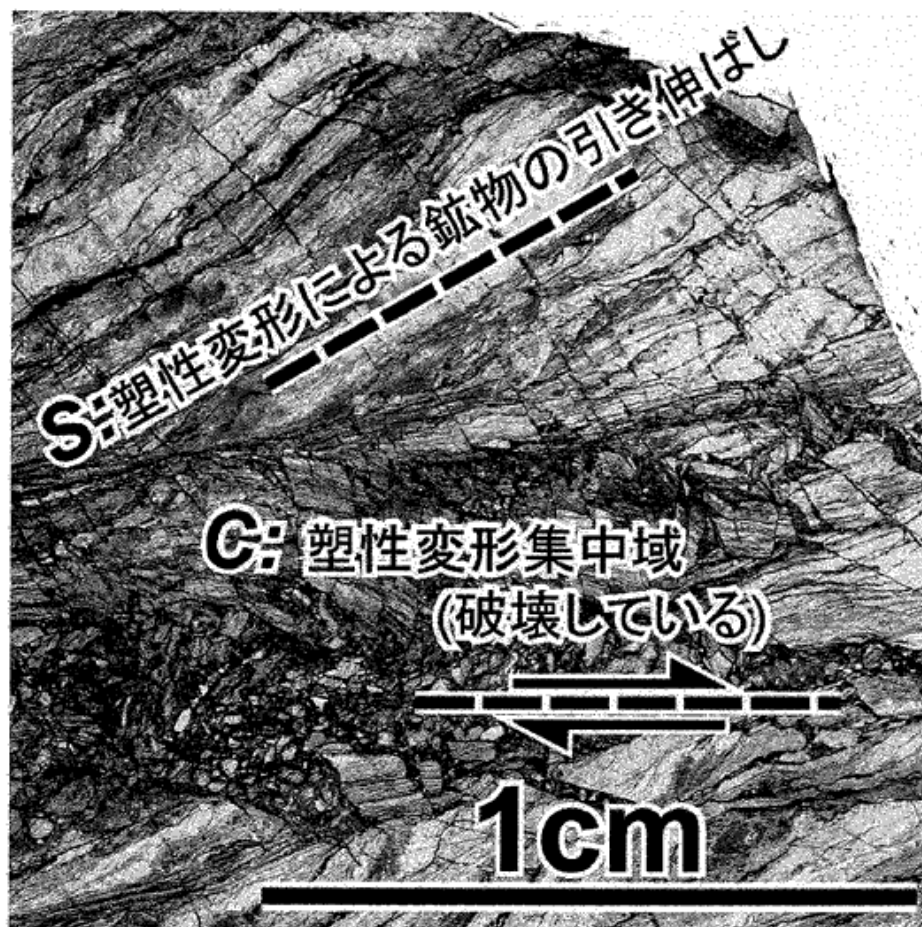


第4図 岩石中の揮発成分（水など）の量と酸素同位体の関係。塑性変形が強くなると揮発成分の量も増えて酸素同位体も変化することから、水の影響が示唆される。

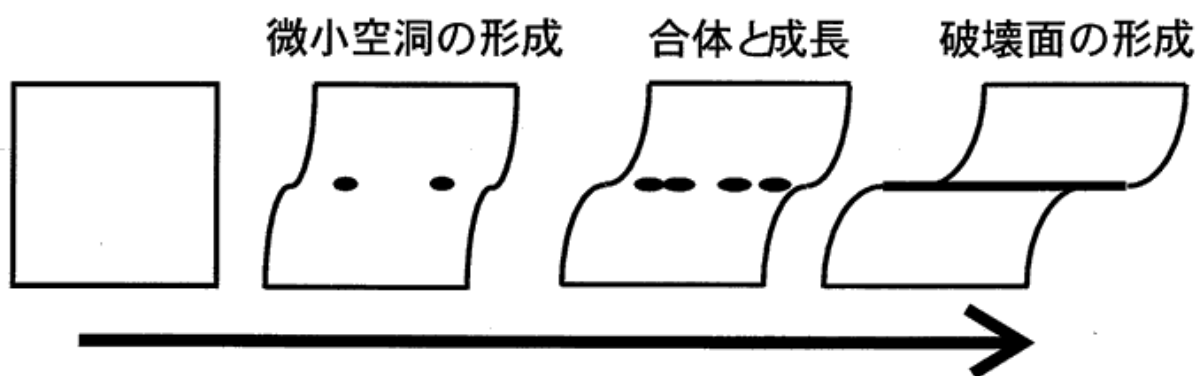
Fig.4 Relations between LOI (loss of ignition) and oxygen isotope ratio of fault rocks around the Hatagawa fault zone.

塑性変形から破壊へのプロセス

延性破壊を示唆する畑川破碎帯の試料写真



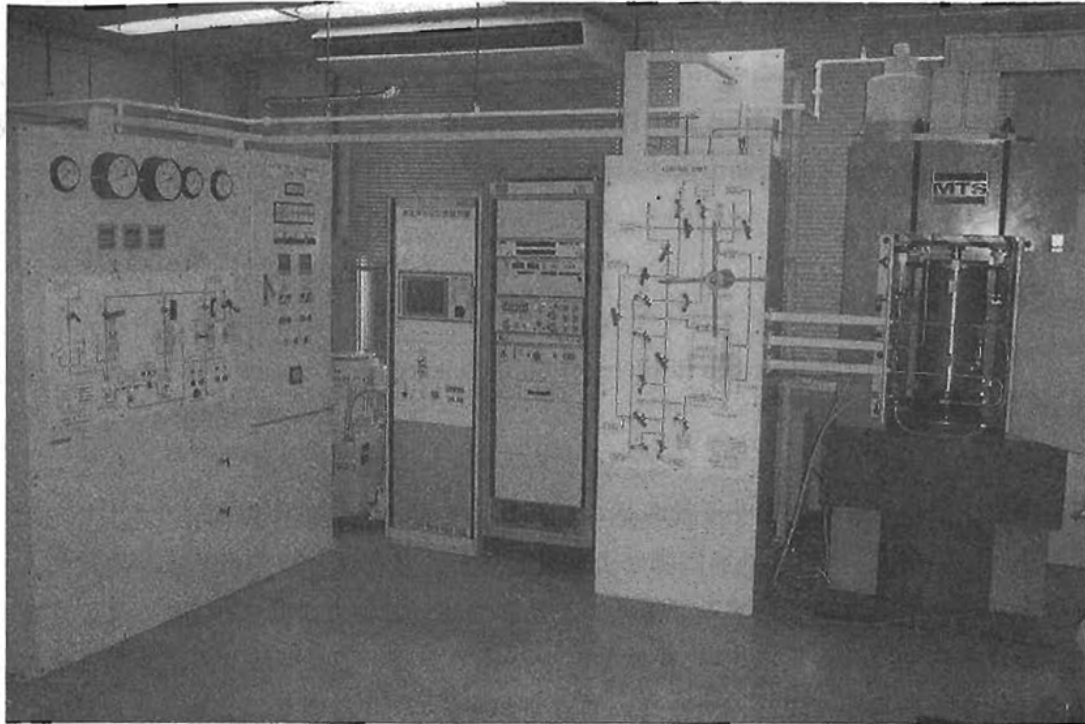
延性破壊のプロセス



第5図 塑性変形の集中域での破壊を示す試料写真（上）と、その形成メカニズムを模式的に表した図（下）。

Fig.5 Texture showing a crushed zone in the deformation localized zone (upper) and schematic illustration of ductile fracturing (lower).

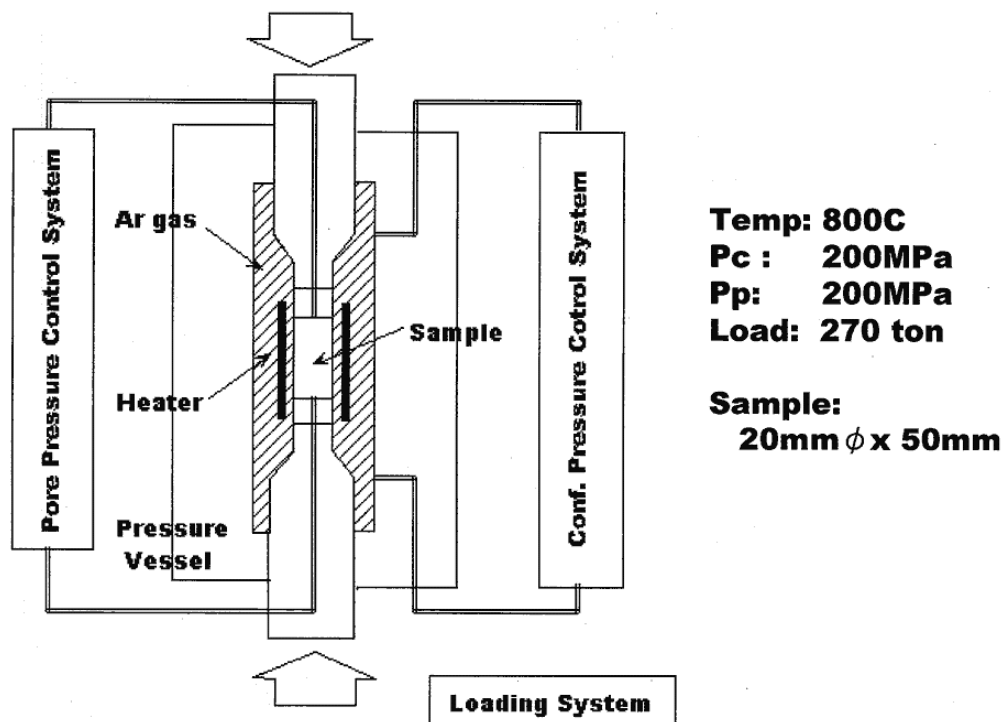
Gas-HPT



第6図 産業技術総合研究所に設置されたガス圧式高温高压変形実験装置の全景。

Fig.6 A Gas-medium, high-pressure and high-temperature deformation apparatus installed at Geological Survey of Japan, AIST.

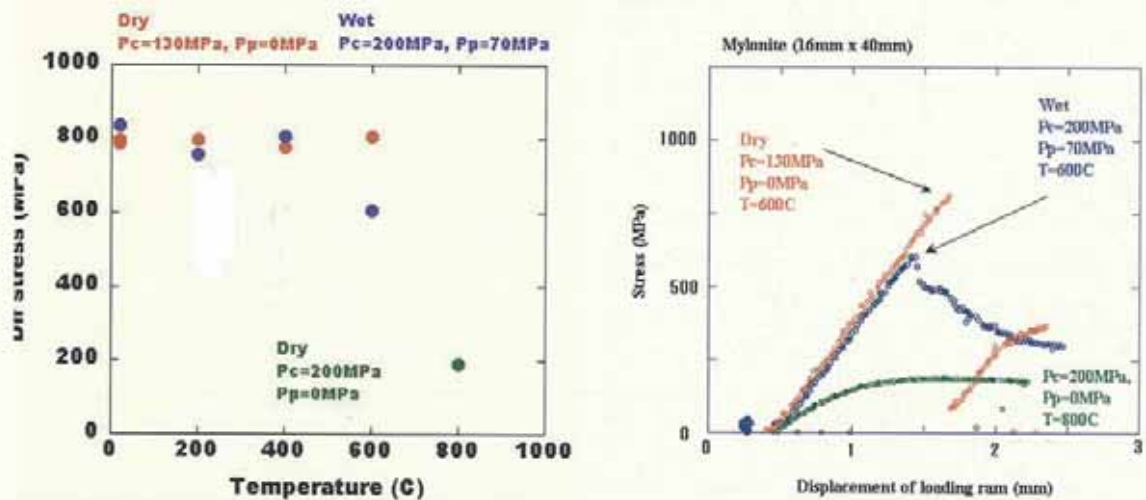
Gas HPT Apparatus



第7図 高温高压変形実験装置の概念図と主要スペック

Fig.7 Schematic illustration of the apparatus and main spec.

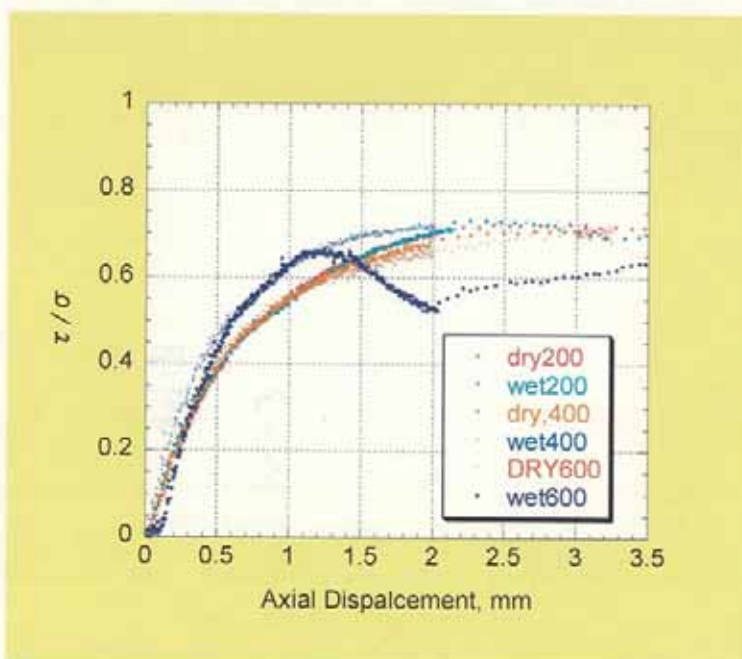
高温(800度)・高封圧(200MPa)・湿潤下における 断層岩の変形実験



第8図 高温、高圧、湿潤条件でのマイロナイトの変形特性。左図は温度によるピーク強度の変化，右図は軸方向の変位と応力の関係を示す。600℃以上で水を加えた場合塑性的な変形挙動を示す。

Fig.8 Results of high-temperature, high-pressure deformation experiments of mylonite. Left diagram shows peak stress change with temperature. Right diagram shows stress versus displacement of loading ram. Both diagrams indicate that mylonite exhibits “plastic deformation” above 600 C under wet condition.

温度や水の有無による灰長石の摩擦係数の比較



室温～600℃

DRY

摩擦曲線の相違は見られなかった。

WET

600℃において滑り軟化が見られた。

第9図 温度や水の有無による灰長石の摩擦挙動の違い。600℃で水の存在下ですべり軟化を示す。

Fig.9 Frictional behavior of anorthite under different conditions. Anorthite shows slip softening at 600 C under wet condition.