

## 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 6月30日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21740392

研究課題名（和文） 断層運動時の間隙水圧上昇に伴う元素の移動機構の理解

研究課題名（英文） Host mineral phase determination related to elemental behavior during fluid-rock interaction in a fault system

研究代表者

谷水 雅治（TANIMIZU MASAHARU）

独立行政法人海洋研究開発機構・高知コア研究所・サブリーダー

研究者番号：20373459

研究成果の概要（和文）：

1999年に台湾にてマグニチュード7.6の地震（集集地震）をひき起こした、台湾中部のチェルンブ断層の掘削コア試料について、微量元素に着目した鉱物相の断層中央部での変化について放射光 X 線を用いて考察した。ストロンチウム(Sr)は断層中央部では曹長石に多く含まれており、このことは、流体側に溶けていた Sr が、高温下で新たに晶出した曹長石に取り込まれたことを意味しており、その温度は少なくとも250度以上と推定された。つまり、高温の水が断層破砕帯を通過した履歴を示しており、これは断層運動と同期したものと推定された。

研究成果の概要（英文）：

Chemical speciation analysis of trace elements was carried out for sediment core samples collected from Taiwan Chelungpu Fault using synchrotron X-ray radiation. Almost all Sr was present in the phase of albite, which is observed as a newly crystallized phase during the fluid-rock interaction at high temperatures of above 250 degrees Celsius in laboratory experiments. This host phase of Sr demonstrates the presence of water in the fault, and its high temperature can be interpreted as the result of co-seismic frictional heating of the fault. This result will support the hypothesis of thermal pressurization in fault weakening mechanism from mineral phase as well as transect chemical composition pattern.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,300,000	690,000	2,990,000

研究分野：無機地球化学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地球宇宙化学

キーワード：断層、破砕帯、化学状態分析、放射光、曹長石

## 1. 研究開始当初の背景

地震に伴う断層のずれの変位の大きさは、地震の大きさとは必ずしも相関がない。たとえば1999年に台湾で起こったチチ地震(M7.6)では、南北に走るチェルンブ断層にお

いて震源の北部での変位は南部のそれより数倍大きく、北部での被害は甚大であった(死者2488名)。研究代表者の研究室では、チェルンブ断層北側の掘削により、地下1000mから得られた断層破砕帯試料の主成分およ

び微量元素の分析を行った。その濃度変化から、350 度以上の高温水が断層が動いたときに存在したことを特定した。水の関与により断層面で間隙水圧が上昇し、摩擦係数の低下により断層の変位が大きくなるという、1970年代から提唱されていた仮説が実際に起きていることを世界で初めて確かめた (Ishikawa et al., 2008; Nature Geoscience)。

## 2. 研究の目的

本研究では、この元素の移動が、どの鉱物相からの溶脱によるものなのか、またどの鉱物に高温で取り込まれるのかを検証するために、放射光 X 線を用いて目的元素の化学状態分析を行い、その結果から鉱物相を推定することを目標とした。

## 3. 研究の方法

試料は Nature Geoscience 誌に掲載された、主成分・微量元素濃度の分析に使った試料の残り約 1 g を利用した。この試料は台湾地震断層掘削プロジェクト (Taiwan Chelungpu-fault Drilling Project: TCDP) により、地下 1136m, 1194m, 1243m から回収された断層破砕帯試料 (Hole B) である (図 1&2)。

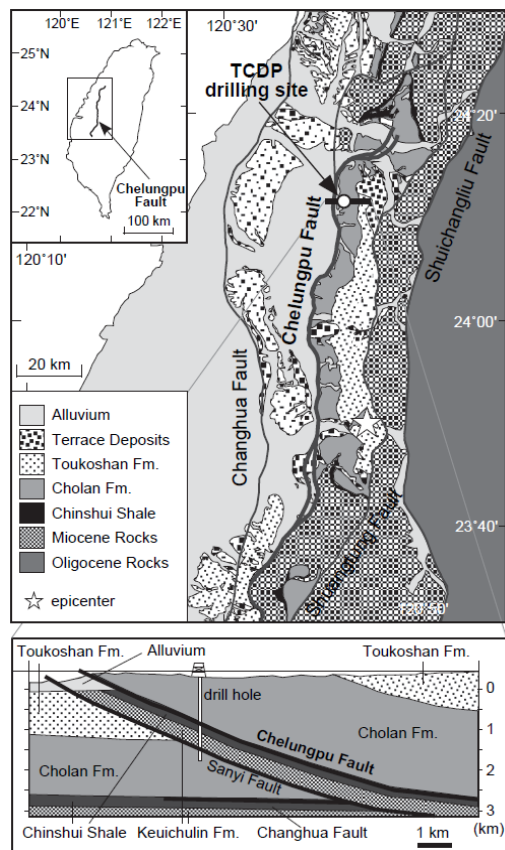


図 1 TCDP 試料の掘削位置および深度 (After Ishikawa et al., 2008)

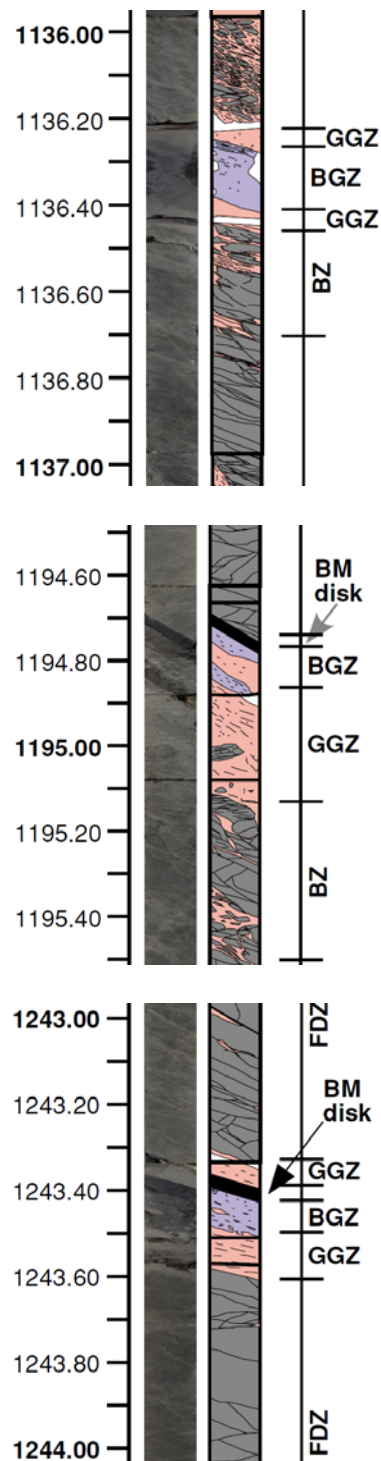


図 2 TCDP Hole B の断層破砕帯の深度とその写真およびスケッチ (After Ikehara et al., 2007)

酸化および乾燥を防ぐために、窒素雰囲気下で密封ののち摂氏 4 度の冷暗所で保存したものを使用した。

元素の化学種形態分析には、高エネルギー加速器研究機構 物質構造化学研究所

(KEK-PF) の放射光 X 線を利用した。各元素に特有なエネルギー吸収端の微細構造 (X 線吸収端構造: XANES) を測定し、解析を行った。XANES は、その分析対象元素の周囲の電子配置に依存した特徴的なスペクトルを示し、とくに価数に敏感である。

微量元素の濃度分析には高知コアセンターに設置された四重極 ICP 質量分析計を用いた。また同位体測定には二重収束 ICP 質量分析計を利用した。ただし、硫黄の濃度および同位体比には、筑波大学丸岡照幸博士が所有する元素分析計および電子イオン化磁場型質量分析計を用いた。

#### 4. 研究成果

1999 年に台湾にてマグニチュード 7.6 の地震 (集集地震) をひき起こした、台湾中部のチェルンブ断層の掘削コア試料について、ヒ素、硫黄、ストロンチウムの濃度と化学存在形態に注目して研究を行った。

硫黄については、顕微鏡下での鉱物観察から断層中央部で硫化物鉱物の消失が認められた。これを化学的に確認するために、硫黄の濃度および同位体比を分析した。その結果、断層中央部では硫黄濃度の系統的な減少は認められなかった。これに対して硫黄同位体比は断層中央部で明らかに重い値を示していた。このことは、断層中の硫黄と、断層を流れる流体中の硫黄の間で物質の出入りがあり、流体中の硫黄が海水起源の硫酸イオンのような重い同位体比をもつものであれば、総量としては濃度は断層全域で一定となるが、断層中央部の流体起源の物質の寄与が大きい部分は重い同位体比となり、測定結果を説明することが可能である。KEK-PF に設置された BL-9A の放射光 X 線を用いた硫黄の XANES の分析では、断層中央部では硫化物の消失が確認され、硫酸イオンに起因するスペクトルが観測された。つまり、硫黄は硫化物としてではなく、硫酸塩の形態で断層内に存在していることが明らかになった。

ヒ素の化学形態分析には KEK-PF に設置された BL-12C の放射光 X 線を利用し、ヒ素の K 殻吸収端近傍の微細構造 (XANES) を測定し、解析した。TCDF では、地下 1136m, 1194m, 1236m から 3 つの断層帯が採取されているが、各断層破碎帯の周辺部では主に硫黄を置換して存在するヒ素が、破碎帯中央部ではほとんど消失していることがわかった。以上のことから、断層を浸透していく流体と岩石との化学反応により、硫化物相に含まれるヒ素が選択的に流体側に溶出した結果であると考えられた。ヒ素は高温の流体と反応して流体相に動きやすい元素であり、断層摩擦運動と同期した、流体の関与した化学反応である可

能性が高いと考えられた。

以上の結果を踏まえ、ストロンチウムの化学存在形態から、チェルンブ断層の履歴温度について検証した。台湾チェルンブ断層から掘削されたコア試料では、微量元素の断層中央部での濃度の増減変化のパターンから、断層運動時に 350 度以上の高温になったことを我々のグループは 2008 年に明らかにしたが、このような高温環境下でおけると予想される鉱物相の変化については確認されていなかった。そこで、KEK-PF に設置された BL-12C の放射光 X 線を用いたストロンチウム (Sr) の XANES を利用して、鉱物相の変化について考察した。ここでターゲットとなるのは、曹長石の晶出が確認されるかどうかである。過去の水熱実験による岩石-流体相互作用の研究では、高温では流体側からナトリウムや Sr が減少するため、岩石側に曹長石の晶出が予想されているが、それを実際に確認した例はない。これは、長石が岩石には普遍的な鉱物であり、若干の量の増加は XRD では検出できないことに起因している。本研究で用いる XANES は、鉱物相ではなく元素に着目し、元素周囲の配位環境の変化から、鉱物相を推定しようとするものであり、このような場合非常に強力な手法となりうる。曹長石に加えて、上記結果から Sr のホスト鉱物相として考えられる、石膏・方解石・灰長石を標準試料として断層試料の XANES スペクトル測定を行った。その結果、曹長石のスペクトルと断層中央部から得られたスペクトルは非常によく一致し、Sr に富む曹長石の晶出を確認した。つまり、鉱物学的に見ても、この断層は 250 度以上の高温の履歴があることが確認された。

以上に加え、化学存在形態と重元素の安定同位体の同位体存在度の質量に依存した僅かな変動は相互に関連しているため、岩石-水相互作用で動きやすいと考えられる、アンチモン、モリブデン、ホウ素の同位体比について、両者の関係について考察を行い、今後の断層岩研究のためのツールとしての検討を行った。

#### 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 6 件)

①谷水雅治、ICP 質量分析法を用いた重元素安定同位体比の精密測定による地球化学の新展開、地球化学、査読有り、45、2011、129-145.

②M. Tanimizu, Y. Araki, S. Asaoka, Y. Takahashi, Determination of natural

isotopic variation in antimony using inductively coupled plasma mass spectrometry for an uncertainty estimation of the standard atomic weight of antimony, *Geochemical Journal*, 査読有り、45、2011、27-31.

③S. Asaoka, Y. Takahashi, Y. Araki, M. Tanimizu, Preconcentration method of antimony using modified thiol cotton fiber for isotopic analyses of antimony in natural samples, *Analytical Sciences*, 査読有り、27、2011、25-28.

④徐垣、谷川亘、廣瀬丈洋、林為人、谷水雅治、石川剛志、廣野哲朗、中村教博、三島稔明、En-Chao Yeh, Sheng-Rong Song, Kuo-Fong Ma, 1999年台湾集集地震を引き起こしたチェルンブ断層の深部掘削の成果概要—明らかになってきた断層岩の物質科学と今後の課題—、*地質学雑誌*、査読有り、115、2011、488-500.

⑤T. Kashiwabara, Y. Takahashi, M. Tanimizu, A XAFS study on the mechanism of isotopic fractionation of molybdenum during its adsorption on ferromanganese oxides, *Geochemical Journal*, 査読有り、43、2009、e31-e36.

⑥M. Tanimizu, Oxidation states of arsenic in pyrites, *Photon Factory Activity Report*, 査読無し、#26 Part B、2009、18-18.

[学会発表] (計 11 件)

①M. Tanimizu, K. Nagaishi, High precision  $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$  analysis with a simplified MC-ICP-MS, 2011年度日本質量分析学会同位体比部会、2011年11月24日、Haeundae Grand Hotel、Busan (Korea).

②谷水雅治、石川剛志、高橋嘉夫、台湾チェルンブ断層中央部における Sr 濃集機構の理解、2011年度日本地球化学会年会、2011年9月14日、北海道大学

③永石一弥、谷水雅治、多重検出型 ICP 質量分析計を用いた新たな高精度ホウ素同位体比の迅速測定法の開発、2011年度日本地球化学会年会、2011年9月14日、北海道大学

④J. Matsuoka, K. Nagaishi, M. Tanimizu, T. Ishikawa, High-precision  $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$  analysis using positive thermal ionization mass spectrometry and multiple collector ICP mass spectrometry, IUPAC International Congress on Analytical Sciences 2011、2011

年 5 月 25 日、Kyoto International Conference Center, Kyoto (Japan)

⑤M. Tanimizu, K. Nagaishi, Precise boron isotopic analysis with a simplified MC-ICP-MS and data comparison with a positive ion TIMS, 2011年2月3日、European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry 2011, World Trade Center, Zaragoza (Spain).

⑥永石一弥、谷水雅治、多重検出型 ICP 質量分析計を用いた高精度ホウ素同位体比の迅速測定法の試み、2010年度日本地球化学会、2010年9月7日、立正大学

⑦谷水雅治、石川剛志、高橋嘉夫、丸岡照幸、元素の化学状態分析による岩石-流体相互作用における元素移動相の推定、2010年度日本地球化学会、2010年9月7日、立正大学

⑧谷水雅治、石川剛志、高橋嘉夫、東垣、宋聖栄、台湾チェルンブ断層掘削試料のヒ素の存在化学形態分析、2010年5月24日、日本地球惑星科学連合2010年大会、幕張メッセ

⑨谷水雅治、浅岡聡、荒木祐介、高橋嘉夫、フェリハイドライトとの吸着反応におけるアンチモンの同位体分別の pH 依存性、2010年3月5日、第8回同位体科学研究会、産総研臨海副都心センター、東京都

⑩谷水雅治、浅岡聡、荒木祐介、光延聖、高橋嘉夫、水圏におけるアンチモンの同位体分別の程度とその分別機構の理解、2009年度日本地球化学会、2009年9月15日、広島大学

⑪Y. Araki, M. Tanimizu, Y. Takahashi, Antimony isotopic fractionation during adsorption on ferrihydrite, Goldschmidt conference 2009. 2009年6月23日、Congress Centre, Davos (Switzerland).

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

谷水 雅治 (TANIMIZU MASAHARU)  
独立行政法人海洋研究開発機構・高知コア  
研究所・サブリーダー  
研究者番号：20373459

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし