

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30日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010～2011

課題番号：22840018

研究課題名（和文）メカノケミストリーを応用した断層内鉱物相転移反応に関する研究

研究課題名（英文）Clay mineralogical analysis on fault rocks by mechanochemical approach

研究代表者

亀田 純 (KAMEDA JUN)

東京大学・大学院理学系研究科・特任助教

研究者番号：40568713

研究成果の概要（和文）：浅部化石付加体である三浦一房総付加体に発達する沈み込み帯前縁断層（白子断層、浅間断層）を対象として粘土鉱物分析を行った。その結果、いずれの断層においても断層内部（断層ガウジ）における局所的なスメクタイト-イライト相転移反応の進行が見られた。この反応はおそらく断層運動時の摩擦発熱によるものと考えられ、地震性の高速すべりが付加体先端部まで到達していたことの物的証拠と考えられる。

研究成果の概要（英文）：Clay mineral characteristics in and around the slip surfaces of frontal thrusts in the Miura-Boso accretionary prism was analyzed for better understanding of their slip behaviors. XRD and TEM analyses revealed a local progress of illitization reaction only within the fault gouges. This reaction might be driven by transient thermogenesis along the slip surface, and indicates probable co-seismic slip propagation up to the prism toe at the subduction margin.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,250,000	375,000	1,625,000
2011年度	1,150,000	345,000	1,495,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,400,000	720,000	3,120,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学、岩石・鉱物・鉱床学

キーワード：粘土鉱物・メカノケミストリー・付加体・地震・津波

1. 研究開始当初の背景

断層内部では、局所的にある種の鉱物相転移反応が起こることが知られている。特に近年、断層の主要成分である粘土鉱物についての報告が相次いでなされており、例えばスメクタイトのイライト化反応、スメクタイトのクロライト化反応、カオリナイトのディッカイト化反応などが見つかってきている。断層内部を構成する断層岩は、断層運動に伴う発熱、化学的環境の変化、粉碎などの作用を複

合的に被る。上記の鉱物の相転移反応もこのような複雑な物理化学プロセスの結果生じるものと考えられるが、その要因についてはよく分かっていない。

2. 研究の目的

このような背景を踏まえ、本研究では、断層岩の主要成分である粘土鉱物を対象とし、その鉱物学的解析を通して断層の物理化学的プロセスや、断層すべり挙動の解明を目指

す。

3. 研究の方法

研究対象として浅部化石付加体である三浦一房総付加体に発達する白子断層、浅間断層に注目した。これらは最近の地質調査により見つけ出された断層であり、付加体前縁断層に相当するものと考えられる。近年、南海トラフの海洋掘削調査により、付加体先端部の断層運動が津波発生を引き起こす可能性が指摘されており、沈み込み帯浅部における断層すべり挙動に関する詳細な理解が望まれている。本研究では白子断層・浅間断層から試料を採取し、XRD・TEM等を用いて断層内外物質の鉱物学的分析を行った。

4. 研究成果

白子・浅間断層の産状

白子断層・浅間断層は、房総半島南部から三浦半島南部にかけて広く分布する中新世～鮮新世の三浦層群に属する地層中から発見された。二つの断層はシルト層中に層理面とほぼ平行に発達している。鍵層との位置関係から、白子断層は浅間断層に比べてより陸側で形成された付加体前縁断層と考えられる。

断層は中軸部の厚さ2～3cmの断層ガウジ層と周囲の断層角礫岩層から構成されている。顕微鏡下では、断層ガウジ中における粘土鉱物の強い定向配列が観察される。鉱物分析用の試料として、白子断層・浅間断層のガウジサンプルと、比較のために変形を被っていない周囲のシルト層(母岩)のサンプルリングを行った。

XRD分析

試料の全岩XRD分析を行った結果、鉱物組成は石英、斜長石、方解石と粘土鉱物からなることが分かった。両断層(とその母岩)で鉱物組成はほぼ同じであるが、浅間断層のサンプルでより強い方解石のピークが認められた。

次に粘土鉱物を分析するため、全岩試料中から2μ以下の粒子を水ひ法で分離し、スメクタイト層間イオンをCaで置換した後、ガラススライド上で定方位試料を作成し、風乾したものとエチレングリコール処理した試料のXRD分析を行った。この結果、粘土鉱物はスメクタイト-イライト混合層、イライト、カオリナイト、クロライトからなることが分かった。XRDパターンを詳細に見てみると断層岩-母岩には以下に示すようないくつかの鉱物学的な違いがあることが分かった。

- (1) 断層試料におけるイライトピークの先鋭化
- (2) 断層試料におけるカオリナイト+クロライトピークの先鋭化

- (3) 断層試料におけるスメクタイト-イライト混合層の(001)/(002)ピークの底角側のサドルの上昇(ピーク・サドル比の減少)

イライトピークやカオリナイト+クロライトピークの先鋭化は、堆積物の埋没続成作用の進行とともに一般的にみられる傾向であり、結晶の成長や、内部の格子欠陥の減少などに起因するものであり、断層内部における鉱物の熱熟成を示唆する結果である。このことをさらに明瞭に示しているのは、(3)の変化であり、これはスメクタイト-イライト混合層中のイライト比の増加を示している。ピーク・サドル比から、それぞれの断層におけるイライトの増加量を見積もってみると、浅間断層で約6%、白子断層で約10%となる。ちなみに(3)で示すようなピークサドル比の減少にはもう一つの要因があり、それはイライト-スメクタイト結晶子のc*軸方向のサイズの減少によるものである。この可能性を検討するために、スメクタイト層間イオンをカリウム置換し、試料を500℃加熱したのち定方位XRD分析を行い、イライト(001)付近にシフトする混合層のピークの広がりを見てみると、断層試料のものほどピークの先鋭化が見られた。このことにより、先に示したサドルの高まりが結晶の剥離等による積層枚数の減少に由来するものでなく、やはり混合層中のイライト比の増大からなることが再確認された。さらにTEMのEDSにより結晶化学組成のスポット分析を行ったところ、断層試料中の混合層結晶ほどよりカリウムに富むことがわかり、このこともイライト化を強く示唆している。

白子断層・浅間断層における断層すべりパラメータの推定

上で述べた粘土鉱物学的な特徴はいずれも断層内部における温度異常を示唆しており、おそらく断層運動に伴う摩擦発熱によって引き起こされたものと考えるのが妥当である。

ここではこれまで報告されているイライト化反応の速度論を適用して、断層摩擦すべり時の温度履歴解析を行った。発熱履歴として摩擦発熱とそれに伴う熱拡散を考慮し、XRD分析で得られた反応進行度を満足するような断層すべりパラメータを検討した。白子断層、浅間断層、いずれもこのような反応を一度の断層運動で引き起こすためには、最高到達温度約550℃の摩擦すべりが必要であることが分かった。ただし、550℃をこえるような発熱現象が生じると、例えばクロライトの分解反応も同時に進む可能性があり、これは先に述べたクロライトの結晶成長あるいは格子欠陥の減少を示唆する結果とは相いれない。すなわち、観察されたイラ

イト化反応は断層が繰り返し運動し、その都度温度が上昇することで徐々に反応が進行していった可能性が高い。例えば白子断層では断層の総変位量が約200mほどあり、この変位を摩擦発熱を伴う断層運動により全てまかなくなったと仮定すると、それぞれ最高到達温度450℃ほどの断層運動が約50回ほど繰り返すことで、反応の進行を説明可能である。

近年、南海トラフの海洋掘削調査により、現世付加体の先端部における断層運動の研究が急速に進められている。その結果、沈み込み帯の浅部にまで地震性の高速すべりが伝播した可能性があるという驚くべき結果が得られた。本研究の結果は、このような浅部の破壊すべりが過去の沈み込み帯先端部でも発生していたことを示唆する結果であり、津波発生との関連性なども含めて今後さらに検討を進める必要がある。

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9件)

1. Kameda, J., S., Hina, K., Kobayashi, A., Yamaguchi, Y., Hamada, Y., Yamamoto, M., Hamahashi, G., Kimura (2012) Silica diagenesis and its effect on interplate seismicity in cold subduction zones. *Earth and Planetary Science Letters*, 317-318, 136-144, doi:10.1016/j.epsl.2011.11.041, 査読有.
2. Kimura, G., A., Yamaguchi, M., Hojo, Y., Kitamura, J., Kameda, K., Ujiie, Y., Hamada, M., Hamahashi, S., Hina (in press) Tectonic mélange as fault rock of subduction plate boundary. *Tectonophysics*.
3. Kameda, J., A., Yamaguchi, S., Saito, H., Sakuma, K., Kawamura, G., Kimura (2011) A new source of water in seismogenic subduction zones. *Geophysical Research Letters*, 38, L22306, doi:10.1029/2011GL048883, 査読有.
4. Yamaguchi, A., A. Sakaguchi, T. Sakamoto, K. Iijima, J., Kameda, G. Kimura, K. Ujiie, F.M. Chester, O. Fabbri, D. Goldsby, A. Tsutsumi, C.F. Li, D. Curewitz (2011) Progressive illitization in fault gouge caused by seismic slip propagation along a megasplay

fault in the Nankai Trough. *Geology*, 39, 995-998, doi:10.1130/G32038.1, 査読有.

5. Watanabe, K., M. Sekiya, J. Kameda, S. Wada, T. Kogure (2011) Mineralogical characterization of Asian dust collected in Fukuoka, southwest Japan. *Clay Science*, 15, 43-51, URL: <http://www.cssj2.org/>, 査読有.
6. Kameda, J., K. Ujiie, A. Yamaguchi, G. Kimura (2011) Smectite to chlorite conversion by frictional heating along a subduction thrust. *Earth and Planetary Science Letters*, 305, 161-170, doi:10.1016/j.epsl.2011.02.051, 査読有.
7. Kameda, J., H. Raimbourg, T. Kogure, G. Kimura (2011) Low-grade metamorphism around the down-dip limit of seismogenic subduction zones: Examples from an ancient accretionary complex in the Shimanto Belt, Japan. *Tectonophysics*, 502, 383-392, doi:10.1016/j.tecto.2011.02.010, 査読有.
8. Kameda, J., A. Okamoto, T. Mikouchi, R. Kitagawa, T. Kogure (2010) The occurrence and structure of vermiform chlorite. *Clay Science*, 14, 155-161, URL: <http://www.cssj2.org/>, 査読有.
9. Kameda, J., Y. Yamamoto, G. Kimura (2010) Smectite swelling in the Miura-Boso accretionary prism: Possible cause for incipient décollement zone formation. *Tectonophysics*, 494, 75-84, doi:10.1016/j.tecto.2010.08.008, 査読有.

[学会発表] (計4件)

1. Kameda, J., Silica diagenesis and its effect on interplate seismicity in cold subduction zones, American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco, USA, 2011/12/02.
2. Kameda, J., Prograde clay mineral reactions along an ancient frontal thrust, 日本地球惑星科学連合大会, 千葉幕張メッセ, 2011/5/26.
3. Kameda, J., A possible source of water in seismogenic subduction zone, American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco, USA,

2010/12/14.

4. Kameda, J., Smectite to chlorite conversion by frictional heating along a subduction thrust, 日本地球惑星科学連合大会, 千葉幕張メッセ, 2010/5/24.

〔図書〕 (計 1 件)

1. Ujiie, K., A. Tsutsumi, and J. Kameda (2011) Reproduction of thermal pressurization and fluidization of clay-rich fault gouges by high-velocity friction experiments and implications for seismic slip in natural faults, In: Fagereng, A., Toy, V. G., Rowland, J. (Eds), Geology of the Earthquake Source: A Volume in Honour of Rick Sibson, Geological Society of London, Special Publications, 359, 267-285.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

亀田 純 (KAMEDA JUN)

東京大学・大学院理学系研究科・特任助教
研究者番号：40568713

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし