

## 海洋無酸素事変で堆積した地層は地震時に滑りやすい ～生物大量絶滅と地震の意外な関係～

海溝型地震は、プレート境界が地震時に高速（秒速約1cm）で滑ることによって発生します。2011年東北地方太平洋沖地震では、プレート境界浅部が大きく滑ったことで、巨大津波が発生しました。その後の研究で、このプレート境界浅部は、スメクタイトと呼ばれる摩擦の低い極細粒の粘土で主に構成されていることが明らかになりました。

しかし、プレート境界深部における地震発生過程は不明でした。そこで、本研究では、岐阜県各務原市の木曾川沿いに露出するかつてのプレート境界深部を調べました。

その結果、地震時の断層滑りは、黒色の有機質粘土層に沿って発生していたことが明らかになりました。この有機質粘土層は、海中から酸素がなくなることで、有機物が分解されず粘土とともに深海底に降り積もることによって出来たものです。このような海洋無酸素事変は、地球の歴史の中で何度か起きていますが、各務原市の有機質粘土層は、今から約2億5200万年前の古生代-中生代境界をまたいで数百万年続いた海洋無酸素事変によるもので、生物の大量絶滅が起きたと考えられています。

試料を採取し実験室で詳細に調べました。すると、地震時の断層滑りにより粘土層が900-1100℃以上の高温で溶けてシュードタキライトと呼ばれる岩石になり、有機物の熱熟成度が顕著に増加していることが分かりました。更に、シュードタキライトの両側にある岩石が、数ミリ幅に渡り熱による破壊を受けている証拠も見つかりました。

本研究は、プレート境界深部では粘土層が地震時に溶けることで断層が滑りやすくなること、そして、周囲の岩石が熱により破壊されることで断層滑りが加速することを示唆しています。生物の大量絶滅をもたらした海洋無酸素事変は、実は地震時の断層滑りに影響を与えていたことが明らかになりました。

### 研究代表者

筑波大学生命環境系

氏家 恒太郎 准教授

## 研究の背景

海溝型地震は、プレート境界が地震時に高速（秒速約1 ㎞）で滑ることで発生します。

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震（以下東北沖地震）では、プレート境界浅部が大きく滑ることで巨大津波が発生しました。その原因は、摩擦の低いスメクタイトと呼ばれる極細粒の粘土で主に構成されているプレート境界浅部が、地震時に大きく滑ったことによるものです。これは、深海掘削で日本海溝沈み込み帯のプレート境界浅部を掘り抜くことで明らかになりました（2013年12月6日のプレスリリース参照、<http://www.tsukuba.ac.jp/attention-research/p201312060400.html>）。

一方、プレート境界深部での地震発生過程は不明でした。深海掘削によりプレート境界深部に直接アクセスすることは技術的に不可能です。本研究では岐阜県各務原市の木曾川沿いに分布する付加体<sup>注1</sup>を調べました。この付加体は、古くて冷たいプレートが沈み込んだ際に形成されたもので、かつてのプレート境界深部が地表に露出したものです（図1）。東北沖地震が発生した日本海溝沈み込み帯のプレート境界と類似した環境条件のもとで形成されました。

## 研究内容と成果

各務原市の木曾川沿いに分布する付加体には、今から約2億5200万年前の古生代-中生代境界をまたいで発生した海洋無酸素事変<sup>注2</sup>を記録した地層が含まれています。長期間にわたる酸素欠乏は海洋生物の大量絶滅をもたらしたと考えられています。海洋無酸素事変を記録した地層の中で、黒色有機質粘土層は、酸素の欠乏で有機物が分解されず、粘土とともに深海底に降り積もることによって出来ました。今回、詳細な地質調査を行ったところ、地震時の高速断層滑りにより有機質粘土層が溶けることで形成されたシュードタキライト<sup>注3</sup>を発見しました（図2）。

シュードタキライトを採取し、微細構造、化学組成、有機物の熱熟成度を実験室で調べました。その結果、粘土層が900-1100°C以上の高温で溶融し、有機物の熱熟成度が顕著に増加している証拠が見つかりました（図3）。また、シュードタキライトの両側に分布する、石英で主に出来たチャートは、幅数ミリに渡って割れ目が密に発達し、著しく破壊を受けている証拠も見出しました（図4）。そこで、チャートの熱物性を測定して熱拡散モデリング計算を行い、割れ目の密度と比較したところ、チャートの破壊は溶融した有機質粘土層から効率良く熱が伝わることで、石英が $\alpha$ - $\beta$ 転移<sup>注4</sup>を引き起こしたことによるものであることが分かりました。

粘土は水を含むので、溶融すると粘性率が下がり断層が滑りやすくなることが示唆されます。また、溶融した粘土層近傍の岩石が熱による破壊を起こすと剛性が低下し、断層における滑りが加速することが考えられます。これまで海洋無酸素事変は海洋生物に壊滅的な被害をもたらしたと考えられてきましたが、一方で有機質粘土層という地震時の断層滑りに影響を与える地層を産み出していたことが明らかとなりました。

## 今後の展開

東北沖地震が発生した日本海溝沈み込み帯では、粘土層がチャートとともに沈み込んでいることが深海掘削で明らかにされています。このような物質が沈み込み帯深部にもたらされれば、本研究で明らかとなった、粘土層に沿った地震性高速断層滑りや熱の拡散によるチャートの破壊が起こる可能性があります。これは日本海溝沈み込み帯における海溝型地震震源域の拡がりを規定するメカニズムを考える上で重要です。更に最近の地震観測で、日本海溝沈み込み帯では断層がゆっくり滑ることで発生するスロー地震も起こっていることが明らかになっています。このようなスロー地震も各務原市の木曾川沿いに分布

する付加体に記録されている可能性があります。当地域で研究を続け、今後はスロー地震の発生過程や発生メカニズムの解明につなげてゆきたいと考えています。

#### 参考図

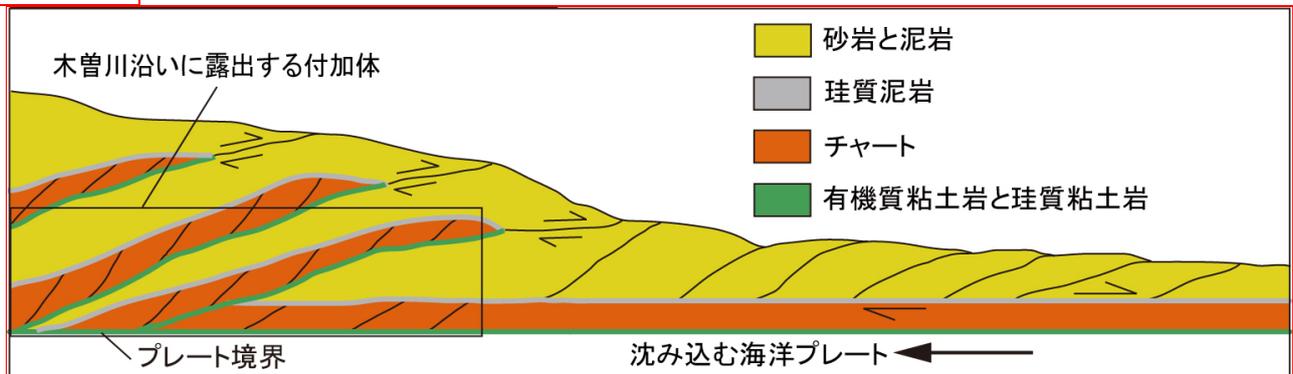


図1 木曽川沿いに露出する付加体の形成過程

右から左に向かって海洋プレートが沈み込む際に、プレート上に堆積した堆積岩が陸側プレートに付け加わることで付加体が形成されます。木曽川沿いに露出する付加体には、この時付け加わったプレート境界深部が保存されています。



図2 発見されたシュードタキライト

下位から上位に向かって地層の色が黒色、灰色、赤色と変化しています。これは海洋環境が酸素に欠乏した状態から酸素を含む状態へ変化したことを反映しています。シュードタキライトは、海洋無酸素時に降り積もった黒色有機質泥岩が地震時の高速断層滑りにより溶けて出来たもので、厚さは僅か2ミリほどです。

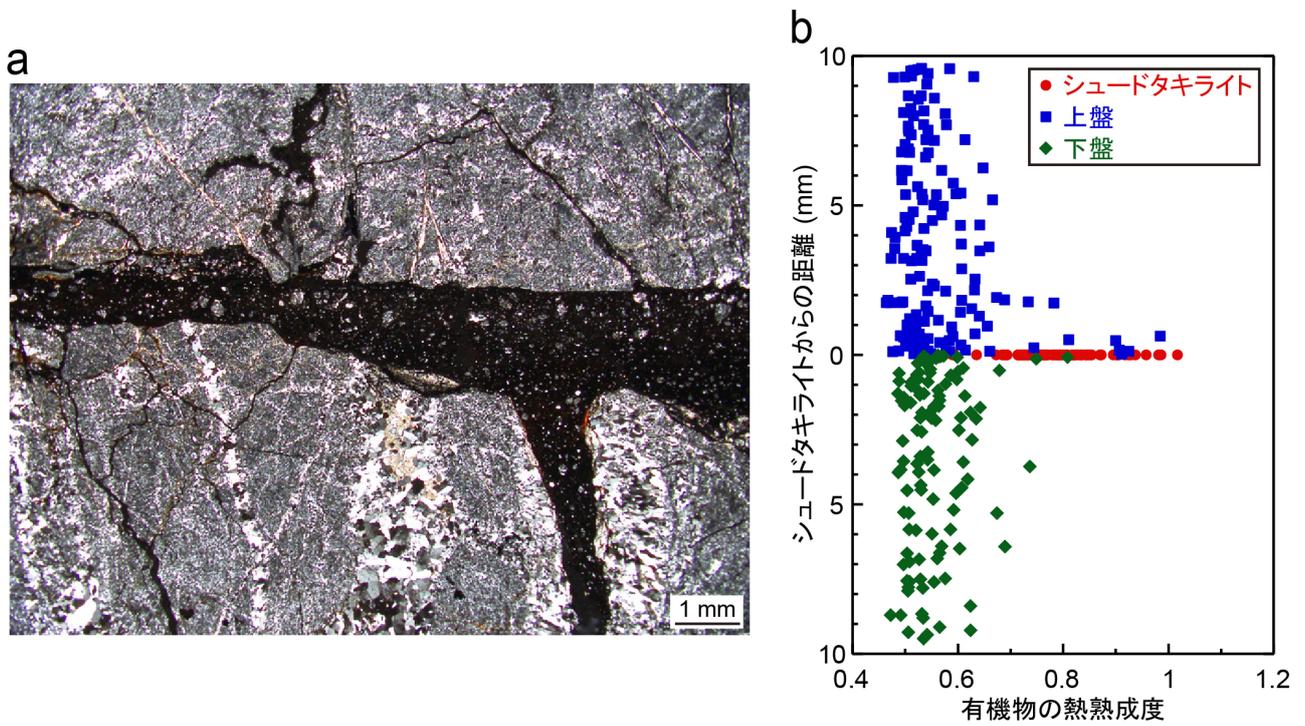


図3 シュードタキライトの特徴

(a)顕微鏡下でシュードタキライトは黒色脈状の産状を示します。(b)有機物の熱熟成度を調べると、シュードタキライトとその近傍で熱熟成度が増加しているのが確認できます。

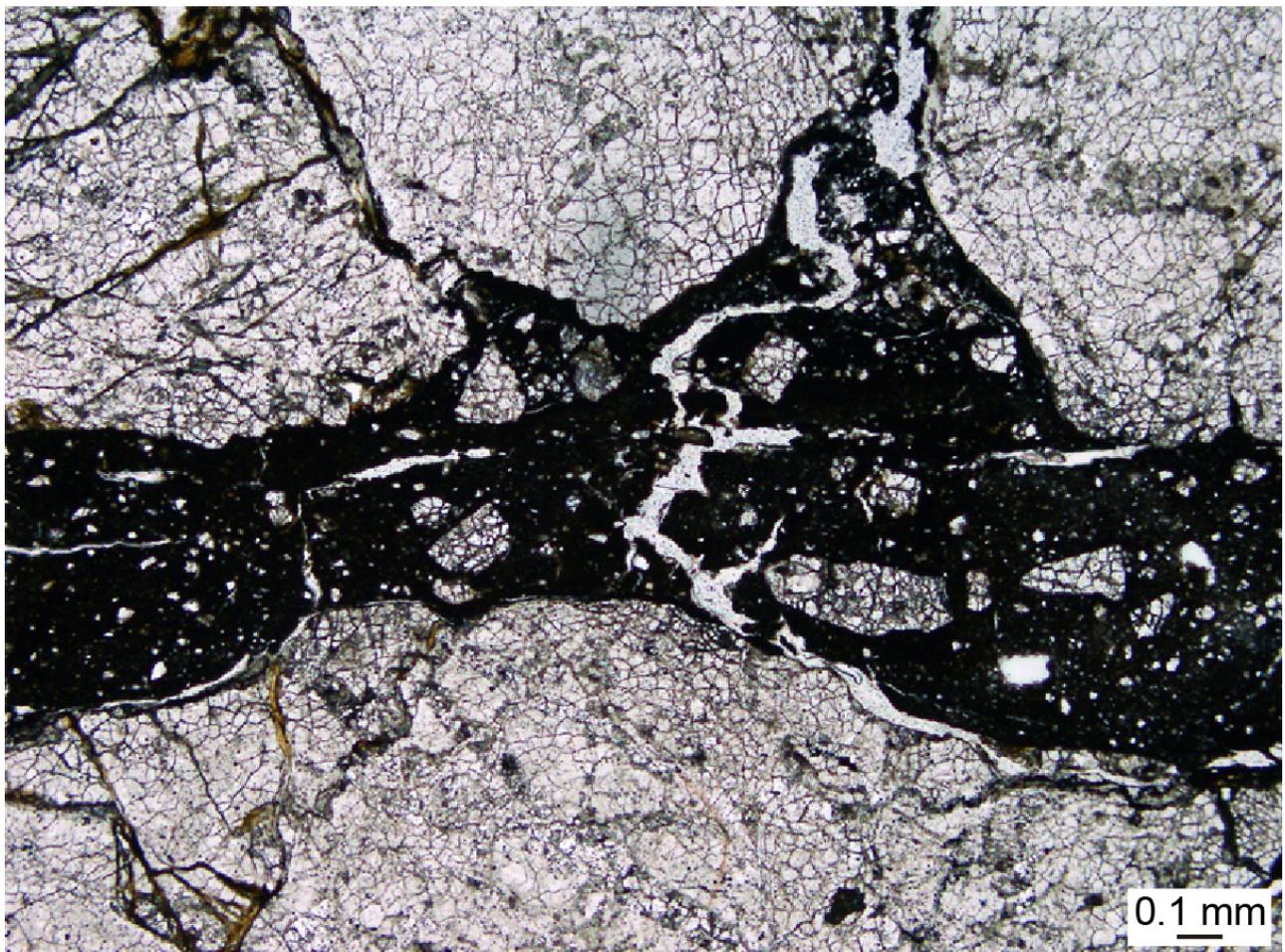


図4 シュードタキライト近傍で見られる破壊の特徴

シュードタキライト近傍の岩石(チャート)は著しく破壊されています。これは溶融層から熱が伝わることで、チャートを主に構成する石英が $\alpha$ - $\beta$ 転移を引き起こしたためであると考えられます。

## 用語解説

### 注1) 付加体

海洋プレート上に堆積した堆積岩が沈み込みに伴って陸側プレートに付け加わることで形成された地質体で、かつてのプレート境界が保存されている。

### 注2) 海洋無酸素事変

温暖化などで海水の循環が停止することで海水から酸素がなくなる事件を指す。古生代末から中生代初めにかけて起こって海洋無酸素事変は、数百万年にも渡る大規模なものであった。

### 注3) シュードタキライト

断層が高速(秒速約1cm)で滑ることで断層面が溶け、急冷し固まることで出来た細粒ガラス質の岩石。断層が高速で滑るのは地震時であることから、シュードタキライトは地震の化石と呼ばれる。

### 注4) 石英の $\alpha$ - $\beta$ 転移

温度上昇により低温型石英( $\alpha$ -石英)から高温型石英( $\beta$ -石英)へ結晶構造が変化することを指す。石英の $\alpha$ - $\beta$ 転移は573°C付近で起こり、この時石英は急激に体積膨張する。

## 研究資金

本研究は、日本学術振興会科学研究費(26287124, JP16H06476, 20K21050: 氏家恒太郎)によって実施されました。

## 掲載論文

【題名】 Frictional melting and thermal fracturing recorded in pelagic sedimentary rocks of the Jurassic accretionary complex, central Japan

(中部日本ジュラ紀付加体の遠洋性堆積岩中に記録された摩擦溶融と熱破壊)

【著者名】 Kohtaro Ujiie, Keisuke Ito, Ayaka Nagate, Hiroki Tabata

【掲載誌】 Earth and Planetary Science Letters

【掲載日】 2020年10月23日(オンライン先行公開)

【DOI】 10.1016/j.epsl.2020.116638

## 問い合わせ先

【研究に関すること】

氏家 恒太郎(うじいえ こうたろう)

筑波大学生命環境系 准教授

URL: [http://www.geol.tsukuba.ac.jp/~kohtaro/Kohtaro\\_Ujiie/Home.html](http://www.geol.tsukuba.ac.jp/~kohtaro/Kohtaro_Ujiie/Home.html)

【取材・報道に関すること】

筑波大学広報室

TEL: 029-853-2040

E-mail: [kohositu@un.tsukuba.ac.jp](mailto:kohositu@un.tsukuba.ac.jp)