

## 2013年オホーツク海深発地震の6成分モーメントテンソル解析 Full moment tensor inversion for the 2013 Sea of Okhotsk deep earthquake

原辰彦<sup>1\*</sup>; 川勝均<sup>2</sup>

HARA, Tatsuhiko<sup>1\*</sup>; KAWAKATSU, Hitoshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 建築研究所国際地震工学センター, <sup>2</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup>IISEE, BRI, <sup>2</sup>Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

We performed full moment tensor inversion for the May 24, 2013 Sea of Okhotsk deep earthquake, which is the largest deep earthquake (the moment magnitude is 8.3 after the Global CMT solution). Following Kawakatsu (1991), we redefined the diagonal components of the moment tensor, and determined full six component moment tensors. In order to determine the isotropic component independently from the CLVD component, we analyzed long period signals in the period range between 550 and 1000 s following Kawakatsu (1996), and Hara et al. (1995, 1996). We retrieved VHZ channel broadband waveform data from the IRIS DMC. The duration of the time series is five hours. We used the Direct Solution Method (Hara et al., 1991, 1993) to calculate the Green's functions. We considered the 3-D velocity structures of model SAW24B16 (Mégnin and Romanowicz, 2000) and crust 2.0 (Bassin et al., 2000; <http://igppweb.ucsd.edu/~gabi/rem.html>) to calculate synthetic seismograms. We set spatial grids around the PDE hypocenter for possible centroid locations and temporal grids around the centroid time of the Global CMT solution for possible centroid times. We conducted linear moment tensor inversions for pairs of the spatial and temporal grids to investigate the dependence of solutions on centroid location and time. In the preliminary analysis, the isotropic components of the solutions with larger variance reductions and smaller correlation coefficients with the isotropic component and the other moment tensor components are in the range around 2 to 4 per cent (implosive) of the seismic moment of this event. This preliminary result is consistent with Okal (2013), who obtained the implosive isotropic component with about 2 per cent of the seismic moment by the analysis of the normal modes  ${}_0S_0$  and  ${}_1S_0$ , although further evaluation on uncertainty of the estimates obtained in this study is required.

キーワード: 深発地震, モーメントテンソル, 等方成分

Keywords: deep earthquake, moment tensor, isotropic component

## 遠地実体波を用いた地震波エネルギーの推定 Estimation of Radiated Seismic Energy from Teleseismic Body Waves

木内 亮太<sup>1\*</sup>; Mori James<sup>1</sup>  
KIUCHI, Ryota<sup>1\*</sup>; MORI, James<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学防災研究所

<sup>1</sup> Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

### 1. はじめに

地震発生時の震源における物理を理解する上で、動的な情報を持つ震源パラメーターは重要な情報である。そのうちの一つである地震波エネルギーは、無限空間において遠方まで伝播する波動エネルギーの総量として表現される。Choy and McGarr (2002) は遠地 P 波を用いて、海洋性地殻で発生する横ずれ型地震の場合に、見かけ応力（地震波エネルギーと地震モーメントの比に剛性率を乗じた量）が高い値を示すという結果を報告した。しかしながら、横ずれ型地震の際には遠地 P 波が放射パターンの節に近くなるため、振幅値の補正が難しく過度の補正を施している可能性がある。さらに、非弾性減衰の効果や観測点近傍での地殻構造の影響により、その推定にはまだ大きな誤差が存在する。そこで本研究では、新しく開発した手法でこれらの補正を行った上で、遠地実体波を用いて地震波エネルギーの推定を行った。

### 2. 方法

本研究では Boatwright and Choy (1986) の解析手法を改良して用いている。この手法では、遠地 S 波の減衰が大きく、また多数の後続波と干渉し合うため解析が困難であることから、遠地 P 波のみから推定を行っており、直達 P 波に pP 波と sP 波の 2 つの後続波が重なって観測されることを考慮している。さらに、前述の問題点を解決するため、本研究では次の 2 点の改良を加えている。(1) 用いるメカニズム解の誤差を考慮するために、放射パターンの補正值に関して strike, dip angle, rake angle それぞれの数値に幅を持たせて計算した後、その平均を取り解析に使用している。(2) それぞれの観測点についての観測点補正を取り入れて解析を行う。

データは IRIS の GSN ネットワークにおいて、震央距離 30-90° に位置する観測点で記録された P 波上下動成分を用いた。また、メカニズム解は Global CMT カタログで公表されている値を使用している。解析は、2000 年以降に発生した Mw 7.0 以上の地震 168 個を対象に行った。

### 3. 結果及び考察

本研究で推定された見かけ応力から、横ずれ型地震においてその値が正断層型や逆断層型地震の場合に比べて大きいことが分かった。また先行研究で指摘されているように、特に海洋性地殻の横ずれ型地震で高い値が見られた。これらの結果は先行研究の主張を支持するものである。しかしながら、定量的には本研究で推定された横ずれ型地震における見かけ応力は先行研究で推定された値よりも有意に小さく、過度な補正によりその値を過大に見積もる可能性があることを示唆している。さらに、従来の手法を用いて計算した場合に比べて誤差のばらつきが小さいことから、本研究で行った補正により、より信頼性のある見かけ応力を求めることが可能となった。

キーワード: 地震波エネルギー, 見かけ応力, 横ずれ型地震

Keywords: Radiated seismic energy, Apparent stress, Strike-slip earthquake

## 東北沖繰り返し地震発生領域を対象とした地震波エネルギー推定 Seismic energy estimation of repeating earthquake sequences offshore northeastern Japan

荒 諒理<sup>1\*</sup>; 井出 哲<sup>1</sup>; 内田 直希<sup>2</sup>  
ARA, Masamichi<sup>1\*</sup>; IDE, Satoshi<sup>1</sup>; UCHIDA, Naoki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地球惑星科学専攻, <sup>2</sup> 東北大学理学研究科

<sup>1</sup>The University of Tokyo, EPS, <sup>2</sup>Graduate school of science Tohoku university

プレート境界では、ほぼ一定速度でゆっくりとしたすべりが進行しており、その境界の時間変化しにくい特徴的な構造によって周りのすべりから遅れる場所、「固着域」がうまれると考えられている。固着域が周りのすべりに追いつくために定期的に破壊することで繰り返し地震が発生する。繰り返し地震の周囲では応力が局所的に大きく変化する。この変化は繰り返し地震の地震波エネルギーの空間的、時間的な変化に影響するだろう。本研究は東北沖で起きる多数の中小規模の繰り返し地震の地震波エネルギーを推定し、その周囲の応力変化や特徴的な構造を理解するための手がかりを得ようとするものである。

地震波エネルギーは地震時の断層の運動によって放射されるので、地震の規模についての動的な指標となる。それに対し、地震前と地震後の状態のみで決まる地震モーメントは地震の規模についての静的な指標である。地震モーメントは地震波スペクトルの低周波部分のみから求められるため推定精度が高いが、地震波エネルギーはスペクトル全体を考慮しなければならず、途中経路や観測点近傍における減衰・増幅効果の影響を補正しなければならないので推定誤差が大きい。また、地震波エネルギーの規模依存性について、現在の地震学において統一した見解は得られていない。特に scaled energy(地震波エネルギーと地震モーメントの比)が地震の規模(地震モーメント)に依存するか否かという問題が明らかでない。したがって、地震波エネルギーの放出様式の空間分布や時間変化などを議論するには、様々な規模の地震について、できるだけ正確に地震波エネルギーを推定する必要がある。

地震波エネルギーを推定するには上で述べた途中経路や観測点近傍の影響を除く必要があるが、本研究では経験的グリーン関数(EGF)法を用いることでこの問題を回避する。EGF法では、同じ震源を持つ複数の地震の同じ観測点における地震波間でスペクトルの比をとる。これにより共通の途中経路や観測点近傍の影響を取り除いて、震源での地震波スペクトル比を得ることができる。本発表では Baltay et al.(2010) のコーダ波を用いた EGF 法をもとに、コーナー周波数の不確実性やノイズの影響について、より厳密に検討する手法を開発した。

この手法を、東北沖の複数の繰り返し地震発生領域に適用した。Mw2-6 程度の地震に対して防災科学技術研究所 Hi-net の速度波形水平 2 成分の S コーダ波のエンベロープからスペクトル比を求めることにより地震波エネルギーを推定した。地震波エネルギーの規模依存性を調べたところ、scaled energy が M0 に対しておおよそ一定か、小さな正の依存性を持つという結果を得た。ただし、地震波エネルギーの推定値、および規模依存性は仮定する震源スペクトルのモデル(オメガ 2 乗モデルなど)に依存する。より適切な震源スペクトルのモデルを用いる必要があり、まだ検討の余地が残されている。

## 東北地方沈み込み帯における小地震の応力降下量の空間分布と2011年東北地方太平洋沖地震との関係 Stress drop variations among small earthquakes in the Tohoku-oki region - implications for the 2011 megathrust event

内出 崇彦<sup>1\*</sup>; Shearer Peter<sup>2</sup>; 今西 和俊<sup>1</sup>  
UCHIDE, Takahiko<sup>1\*</sup>; SHEARER, Peter<sup>2</sup>; IMANISHI, Kazutoshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所, <sup>2</sup> カリフォルニア大学サンディエゴ校スクリプス海洋研究所  
<sup>1</sup>Geological Survey of Japan, AIST, <sup>2</sup>Scripps Institution of Oceanography, UC San Diego

沈み込み帯のように大地震が発生することが懸念される地域で、事前にその破壊過程の性質を把握することは重要である。その手段のひとつとして、断層における何らかの物理パラメータの分布を調べることが考えられる。本研究では、東北地方沈み込み帯において、2011年東北地方太平洋沖地震(以後「本震」と呼ぶ)以前に80 km以浅で発生した1536個のMw 3.0 - 4.5の小地震の応力降下量を求め、断層状態を知る手がかりを得ようと試みた。応力降下量の計算には、Shearer et al. [2006]によるスペクトル解析法を用いた。この手法では、観測波形のスペクトルを震源項、伝播項、サイト項に分解した上で、経験的グリーン関数法により震源スペクトルを得て、そのコーナー周波数を計算する。Madariaga [1976]の円形クラックモデルを適用することで、応力降下量を求める。

応力降下量は深い地震ほど大きくなる傾向が見えた。また水平方向の不均質も明らかになり、青森県東方沖や宮城県沖では比較的高い応力降下量を持つ地震が多いのに対し、三陸沖ではそのような傾向は見られなかった。宮城県沖で応力降下量が高い地域は、本震のすべり域の端部に位置しており、本震の破壊を食い止める役割をした可能性も考えられる。なお、この高応力降下量域は1978年宮城県沖地震の破壊域の西側に位置する。

本震の大すべり域内の小地震の応力降下量は、同域内での本震の応力降下量と同等であった。本震では蓄積されていた剪断応力がほぼ完全に解放されたと考えられる [Hasegawa et al., 2011; Yagi and Fukahata, 2011] ことから、小地震においても剪断応力の大部分を解放しており、残留応力が低いであろうことが示唆される。ただし、本研究では推定された応力降下量同士の相対値はよく求まっているのに対し、絶対値は応力降下量計算で採用する震源モデルなどによって変わってしまうことに注意が必要である。小地震による剪断応力の完全解放については、他の研究による検証を待つ必要がある。

本震では高周波数の地震波が主に深部から放射されていたが、本研究で解析した小地震でも、深い地震の方がより多くの高周波数地震波を放射していることがわかった。

本研究によって、本震以前に発生した小さい地震によって、なんらかの断層状態の不均質性を知る手がかりを得る道筋が見えてきた。応力降下量の不均質が、具体的にどのような断層状態や地質などに対応づけられるのか検討を重ねていく必要がある。それによって、将来の地震の破壊過程モデルに制約を与えることが期待される。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 応力降下量, 宮城県沖, 断層状態の空間不均質

Keywords: The 2011 Tohoku-oki earthquake, Stress drop, Miyagi-oki, Spatial Heterogeneity of Fault Properties

## 強震動記録を用いて構築した2011年東北地方太平洋沖地震の広帯域震源像 Broad-band source image for the 2011 Tohoku earthquake constructed by strong-motion data

久保 久彦<sup>1\*</sup>; 浅野 公之<sup>1</sup>; 岩田 知孝<sup>1</sup>; 青井 真<sup>2</sup>  
KUBO, Hisahiko<sup>1\*</sup>; ASANO, Kimiyuki<sup>1</sup>; IWATA, Tomotaka<sup>1</sup>; AOI, Shin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 京都大学防災研究所, <sup>2</sup> 防災科学技術研究所  
<sup>1</sup>DPRI, Kyoto Univ., <sup>2</sup>NIED

長周期(概ね10秒以上)の地震波に基づく時空間すべり分布と短周期(0.1-1秒)の地震波の励起源の比較から、2011年東北地方太平洋沖地震(Mw 9.1, 以下2011年東北地震)における地震波放射特性は空間的な周期依存性を有していて、それはプレート境界上のすべり挙動の空間変化を反映していると考えられている(例えば Koper *et al.*, 2011; Lay *et al.*, 2012)。しかし、先行研究は異なる手法による解析結果の比較を基にしており、異なる周期帯における震源モデルの定量的な比較は行われてこなかった。そのため、2011年東北地震の震源特性をより深く議論するには同一手法を用いた周期帯別震源モデルを構築する必要がある。久保・他(2013, 日本地震学会秋季大会)では三つの異なる周期帯域(10-25秒・25-50秒・50-100秒)での時空間すべり分布を推定した。本研究は久保・他(2013)を拡張し、強震動記録を用いて周期10-25秒・17-33秒・25-50秒・33-67秒・50-100秒という連続的に異なる5つの周期帯域における2011年東北地震の時空間すべり分布を構築する。そして、周期帯別の空間的なすべり速度時間関数の違いに基づき、その震源特性を議論する。

時空間すべり分布の推定には Multiple time windows を用いた Kinematic linear waveform inversion (Hartzell and Heaton, 1983) を使用した。Green 関数は、三次元地下速度構造モデル(全国一次地下構造モデル, Koketsu *et al.*, 2012) を仮定した上で、三次元差分法プログラム GMS (Aoi and Fujiwara, 1999) によって計算した。解析には防災科学技術研究所 K-NET・KiK-net・F-net の25観測点における強震波形記録を用いた。2011年東北地震の震源域で発生した中規模地震の上記観測点における地震動記録を用いて、解析対象周期における三次元地下速度構造モデルの妥当性を確認した。

推定された周期別震源モデルから、周期10-100秒における2011年東北地震の震源像は次のようにまとめられる。①破壊開始後0-60秒における宮城県沖深部での一回目の破壊(down-dip方向)。比較的短周期(周期10-25秒)を中心とした地震波が励起された。②破壊開始後45-90秒における宮城県沖浅部における長い継続時間を持つup-dip方向の破壊。③破壊開始後45-90秒における宮城県沖深部での二回目の破壊(down-dip方向)。一回目に比べてより長い周期(周期25-100秒)の地震波が強く励起された。宮城県沖深部における二回の破壊での励起地震波の卓越周期の違いは、断層面上における small scale の不均質が最初の破壊によって取り除かれたために生じたのかもしれない。④破壊開始後90-135秒における福島県南部沖深部での破壊。

発表では現在構築中の周期5秒から100秒までの連続的な周期帯域における震源モデルについても報告する予定である。

【謝辞】本研究では防災科学技術研究所 K-NET, KiK-net, F-net で観測された強震記録を使用しました。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 広帯域震源像, 周期帯別震源モデル, 震源インバージョン, 強震動記録  
Keywords: The 2011 Tohoku earthquake, Broad-band source image, Source models on different period bands, Source inversion, Strong-motion data

## ゆっくり滑りを示唆する前震活動 Foreshocks implying slow slip transients leading to large earthquakes

加藤 愛太郎<sup>1\*</sup>; 小原 一成<sup>1</sup>  
KATO, Aitaro<sup>1\*</sup>; OBARA, Kazushige<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所  
<sup>1</sup> ERI University of Tokyo

In the recent decades, a growing number of geophysical evidences has clarified that a major fault zone along plate interface hosts not only the unstable fast sliding during rupture of ordinary earthquake, but also slow slip transients without any seismic radiations. Because slow slip transients quasi-statically release the shear stress in the adjacent seismogenic regions, the slow slip transients may have caused stress loading on the nearby seismic patch and might play a role in a slow nucleation process leading to a large earthquake (Beroza and Ide, 2010; Bouchon et al., 2011; Kato et al., 2012). Therefore, it is quite important to reveal interplay between slow slip and unstable fast slip, in order to shed light on the nucleation process of large earthquake.

Here, we explored foreshock activities implying slow slip transients leading up to large earthquakes. We applied the matched filter technique to continuous waveform data around 10 days prior to the past large earthquakes in Japan ( $M > 6.5$ ), and created newly foreshock catalog for each sequence. We found out accelerating seismicity preceding some large earthquakes at plate interfaces and intraplate at time scales of days to hours. These foreshocks were located very close to the initiation point of each mainshock rupture. The increase in foreshock seismicity implies that a fault may begin to slowly slip before large earthquake, as like recognized in the foreshock sequence prior to the 2011 Tohoku-Oki earthquake.

## 震源過程と Vere-Jones の分枝モデル間の類似特性 Similar Characteristics between the earthquake source process and Vere-Jones' Branching model

庄建倉<sup>1</sup>; 王<sup>2\*</sup>

ZHUANG, Jiancang<sup>1</sup>; WANG, Dun<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> 統計数理研究所, <sup>2</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup>Institute of Statistical Mathematics, <sup>2</sup>Earthquake Research Institute, University of Tokyo

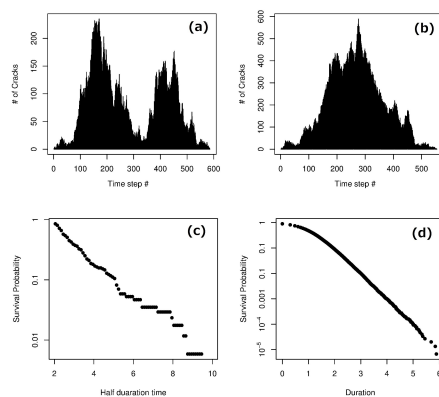
Vere-Jones' branching crack model was developed in 1970s. In this model, the earthquake source is regarded as the results of the total population of crack elements in a critical or near-critical branching process, where the crack does not propagate in a single continuous movement, but through a series of steps. At each step, each crack element simply terminates or generates several other crack elements nearby. Regarding the total number of steps (generation) as the duration time and the total number of crack elements as the total energy released, the following similarities are found between earthquake sources and this model:

1. The distribution of energies is asymptotically a Pareto distribution (power law) for the critical case, or a tapered Pareto distribution (tapered power law, Kagan distribution) for the subcritical case.
2. The duration time of ruptures has a tapered inverse power distribution.
3. The number of crack elements at each generation (time step) show similar patterns of earthquake source time functions.

Figure 1 (a) and (b): Plots of the numbers of crack elements at each time step in two simulation examples. (c): Distribution of half duration times in real earthquake catalog. (d): Distribution of duration times in synthetic catalogs.

キーワード: 分枝過程, ガーテンベルグ・リヒター則, テーパーパレート分布, 震源過程

Keywords: Branching process, Gutenberg-Richter Magnitude-Frequency Relation, Tapered Pareto distribution, Earthquake source



## 震源タイプのプロット法に関する再考察 Review on Source Type Diagrams

麻生 尚文<sup>1\*</sup>; 太田 和晃<sup>1</sup>; 井出 哲<sup>1</sup>  
ASO, Naofumi<sup>1\*</sup>; OHTA, Kazuaki<sup>1</sup>; IDE, Satoshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学 大学院理学系研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Science, The University of Tokyo

地震における力のシステムは、内部力源による点震源の仮定のもと、対称なモーメントテンソルで表現され、特徴的な向き・地震サイズ・震源タイプの情報をもつ。震源タイプとして、ダブルカップルを仮定することも多いが、主に誘発地震や火山性地震について、等方成分など非ダブルカップル成分の存在が指摘されている。また、ダブルカップルの組み合わせから非ダブルカップル成分が生じうることも分かっている。震源タイプに関する議論のため、震源タイプを分かりやすく可視化して表現することが重要である。

震源タイプの情報は二自由度であるため、二次元平面上に表現可能である。Hudson et al. [1989] によるダイアグラム (HPR ダイアグラム) がよく用いられるが、主な問題点として、スカラーモーメントを地震サイズとする概念 [Aki and Richards, 2002] と整合的でないこと、が挙げられる。これは、モーメントテンソルの固有値を座標とする三次元空間上の点 ( $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ ) を、立方体の面上に投影していることに起因する。

そこで、Chapman and Leaney [2012] は球面投影とステレオ投影とを組み合わせた図法 (CL ダイアグラム) を考えた。球面投影により HPR ダイアグラムの問題点を解決し、ステレオ投影により球面上の点が面密度を保ったまま平面上にプロットされる。CL ダイアグラムは、任意のメカニズムとダブルカップルとの合成で得られるメカニズムが中心を通る一直線上にプロットされる利点があるが、ダイアグラムが曲線に囲まれた煩雑な領域になること、等方成分が卓越した際に非等方成分の様子が分かりにくいこと、などの欠点もある。

本研究では、HPR ダイアグラムの問題点を解決しつつ、CL ダイアグラムよりも直感的に理解しやすい矩形ダイアグラム (AOI ダイアグラム) を新たに開発した。点 ( $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ ) を球面投影したのち、面密度を保ったまま円筒に投影して展開する。等方軸 (等方成分だけを変化させた際の軌跡) と非等方軸 (非等方成分をスカラーモーメント一定のもと変化させた際の軌跡) との直交座標系になっている。等方成分は P 波の情報だけが現れる一方で、非等方成分は P 波と S 波からの情報が等価に現れるため、AOI ダイアグラムは地震波形解析と調和的な図法だと言える。

震源タイプのプロット法には、地図投影法と同様に万能な物は存在しないので、それぞれの図法の利点・欠点を理解して用いることが重要である。本研究では、実際の地震メカニズムの解析結果例をプロットしながら、ダイアグラムごとの見え方の違いや注意すべき点についても言及する。

キーワード: モーメントテンソル, 震源タイプ, 図法, ダブルカップル, CLVD, 等方変形

Keywords: moment tensor, source type diagram, double couple, CLVD, isotropic deformation



## Stress concentration ahead of supershear rupture Stress concentration ahead of supershear rupture

福山 英一<sup>1\*</sup>; 徐 世慶<sup>1</sup>; 溝口 一生<sup>2</sup>; 山下 太<sup>1</sup>  
FUKUYAMA, Eiichi<sup>1\*</sup>; XU, Shiqing<sup>1</sup>; MIZOGUCHI, Kazuo<sup>2</sup>; YAMASHITA, Futoshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所, <sup>2</sup> 電力中央研究所

<sup>1</sup>Nat'l Res. Inst. Earth Sci. Disas. Prev., <sup>2</sup>Centr. Res. Inst. Elect. Pow. Ind.

We report the shear strain field ahead of a supershear rupture. The strain data was obtained during the large-scale biaxial friction experiments conducted at NIED in March 2013. We conducted friction experiments using a pair of meter-scale gabbro rock specimens whose fault area was 1.5m x 0.1m. We applied 2.6MPa normal stress and loading velocity of 0.1mm/s. At the long side of the fault edge, which is parallel to the slip direction, 32 2-component semi-conductor strain gauges were installed at an interval of 50mm and 10mm off the fault. The data are conditioned by high frequency strain amplifiers (<0.5MHz) and continuously recorded at an interval of 1MHz with 16-bit resolution. Many stick slip events were observed and a unilateral rupture event was chosen in this analysis that propagated with supershear rupture velocity. By focusing at the rupture front, stress concentration was observed and sharp stress drop occurred immediately inside the rupture. We found that the stress concentration becomes mild as the rupture propagates and length of the stress concentration area becomes longer. This observation is quite interesting because the rupture propagates at a constant speed close to square root two times the shear wave velocity and thus a longer stress concentration region suggests more energy dissipation. We might speculate that such longer stress concentration area suggests longer plastic region ahead of the rupture (or longer cohesive distance). I.e. The cohesive zone length might be longer as the rupture propagates to maintain constant rupture velocity propagation.

キーワード: Earthquake rupture, Stress concentration, Supershear rupture  
Keywords: Earthquake rupture, Stress concentration, Supershear rupture

## 摩擦すべりに伴う AE 活動・摩擦特性の累積変位・法線応力依存性 Effects of normal stress on the evolution of AE activities and frictional properties of a fault

飯田 拓郎<sup>1</sup>; 矢部 康男<sup>1\*</sup>  
IIDA, Takuro<sup>1</sup>; YABE, Yasuo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科  
<sup>1</sup> Graduate School of Science, Tohoku University

To numerically investigate earthquake generations on a plate interface or a fault, we need to know their frictional properties. This study provides a clue to evaluate the frictional properties from spatio-temporal variations of such observations as seismicity and aseismic sliding on the interface of the fault.

We performed frictional sliding experiments using a rotary shear apparatus under a variety of normal stress from about 5 MPa to about 15 MPa. Stepwise change in the sliding rate was imposed to investigate rate dependences of AE activity and friction. Cumulative displacement up to 200 mm was achieved to elucidate their evolutions.

We confirmed similar evolutions of AE activities and friction to those shown by Yabe (2002). That is, the frictional property (rate dependence of friction) of the fault was first the velocity strengthening. The velocity strengthening became weak with an increase in the cumulative sliding. Then, the fault showed the frictional property of velocity weakening. Finally, the rate dependence of friction converged to a constant negative value, when the cumulative sliding reached a critical distance. The  $m$ -value of AE events increased with sliding, when the cumulative sliding distance was smaller than a critical distance. After the critical sliding distance, the  $m$ -value took a constant value. The critical sliding distances of the frictional property and the  $m$ -value were almost the same each other. The rate dependence of the  $m$ -value, which was negative under a small sliding distance, also converged to a constant value of about zero at the cumulative sliding distance.

The evolutions were quantitatively evaluated by applying an exponential-decay function to data that is similar to the function proposed by Wang and Scholz (1994) to express wear processes of a fault. The function well reproduced the experimental data, suggesting that AE activities and frictional properties evolved in association with the wear. The decay distances of evolutions of the AE activities and the frictional properties were equal to each other and in inverse proportion to the normal stress. The latter could be understood by taking into account that the larger the overlap volume of asperities on the fault, the larger the normal stress. Further, when the normal stress was increased, the velocity weakening became weak and the  $m$ -value was decreased.

These results imply that there exists interrelations among seismicity and frictional properties of the fault.

キーワード: 摩擦すべり, AE 活動, 摩擦特性, ロータリーせん断, 変位依存性, 法線応力依存性  
Keywords: frictional sliding, AE activity, frictional property, rotary shear, evolution, normal stress dependence