



NEWS

URL:<http://unit.aist.go.jp/actfault/activef.html>

Active Fault Research Center

CONTENTS

トピックス

2008年岩手・宮城内陸地震と内陸活断層の物理モデル
タイ南部沿岸の堆積物に記録された過去の巨大津波

フィールド、トレンチ情報
対外活動報告 (2009年2, 3月)



2008年岩手・宮城内陸地震と内陸活断層の物理モデル

安藤亮輔（地震災害予測研究チーム）

はじめに

昨年発生した岩手・宮城内陸地震は、火山地帯で生じたM7級の珍しい地震という以上に、地震発生の物理過程を理解する上で、貴重な情報を引き出せる希に見るイベントであるように思う。筆者らは、合成開口レーダー（SAR）や地震波観測、地熱観測などの地球物理学的観測データと、地表変状の緊急調査等により得られた地質・地形学的観測データに、計算機シミュレーションを組み合わせ、内陸活断層の実像に迫ろうとしている。この間の解析の結果、震源断層の深部延長には、どうやら定期的に滑っている局在化した剪断帯が存在しており、地震の発生に大きな役割を果たしていることが見えてきた。地表面の現象を予測するには、やはり地下深部の理解が欠かせない。

内陸断層の物理モデルと応力蓄積過程

内陸活断層の深部延長が、どのような形状と力学特性を示しているのかということは、現在の活断層研究が明らかにすべき、中心課題の一つである。近年、それは測地学的歪み集中帯の成因としても注目を浴びている。Scholz (2002) 等で議論されているように、地殻の深さ方向の物性変化、それにともなう断層の力学特性は、主に温度圧力条件によって支配されており、地温勾配により地震発生層の下端深度が決定される（図1）。すなわち、地温が低い地殻上部は脆性的な地震発生層であるのに対し、地温が造岩鉱物の塑性開始温度を超える地殻下部は延性的であり、非地震的な塑性流動が進行する。

下部地殻における流動は、地震の繰り返しを考えたときに、断層への応力蓄積過程として重要な役割を果たす。プレート運動を起源として内陸に蓄積された応力は、上部地殻では地震時の高速滑りによって解消されるのに対し、下部地殻では地震間の非常にゆっくりとした流動で解消されると考えられている。すなわち、地震間において上部地殻には、遠方から加わる広域応力のみならず、下部地殻で応力の開放されてしまった効果がさらに加わることになる。このとき、どのように上部地殻に応力が蓄積されるかは、活断層の深部延長の力学的特性、幾何学的構造に依っている。内陸活断層での地震の繰り返

返しパターンや本震規模は、下部地殻での変形のありように強く依存しているのである。

下部地殻の変形様式について、具体的に重要なのは、それが図1に示すような剪断帯として局在化して生じているのか、そうではないのか、という問題である。岩石実験や露頭調査、サンアンドレアス断層などのプレート境界での測地観測では、このような剪断帯の存在が示唆されているが、日本の内陸活断層のような変形速度が小さく未成熟な断層系では、観測、モデルともに未だに手探り状態であろう。

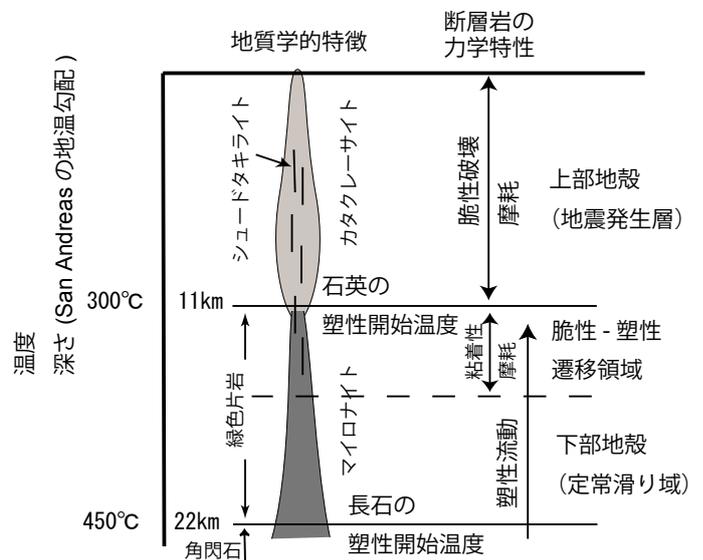


図1. 地殻の物性と断層力学特性の深さ依存性 (Scholz, 2002 のモデル)。断層を輪切りにした模式図。地温勾配によって、上部地殻では地震時に脆性破壊が生じ、下部地殻では地震間に塑性流動・定常滑りが生じる。

火山が照らし出す活断層の根っこ

そこで発生したのが、2008年岩手・宮城内陸地震である。この地震の震源領域近傍には、いくつかの第四紀火山が存在し、図2（左）に示したように、余震においても定常的地震活動においても、明瞭な火山と地震活動の相補関係が見られる；本震震源域は火山で挟まれ、また火山近傍の地殻浅部では微小地震が起きていない。さらに興味深いことに、図2（右）に示すように、火山性の深部低周波地震（LFE）クラスターの直上では、地震発生層の下限が有意に浅くなっている。これは、火山による局所的な地熱

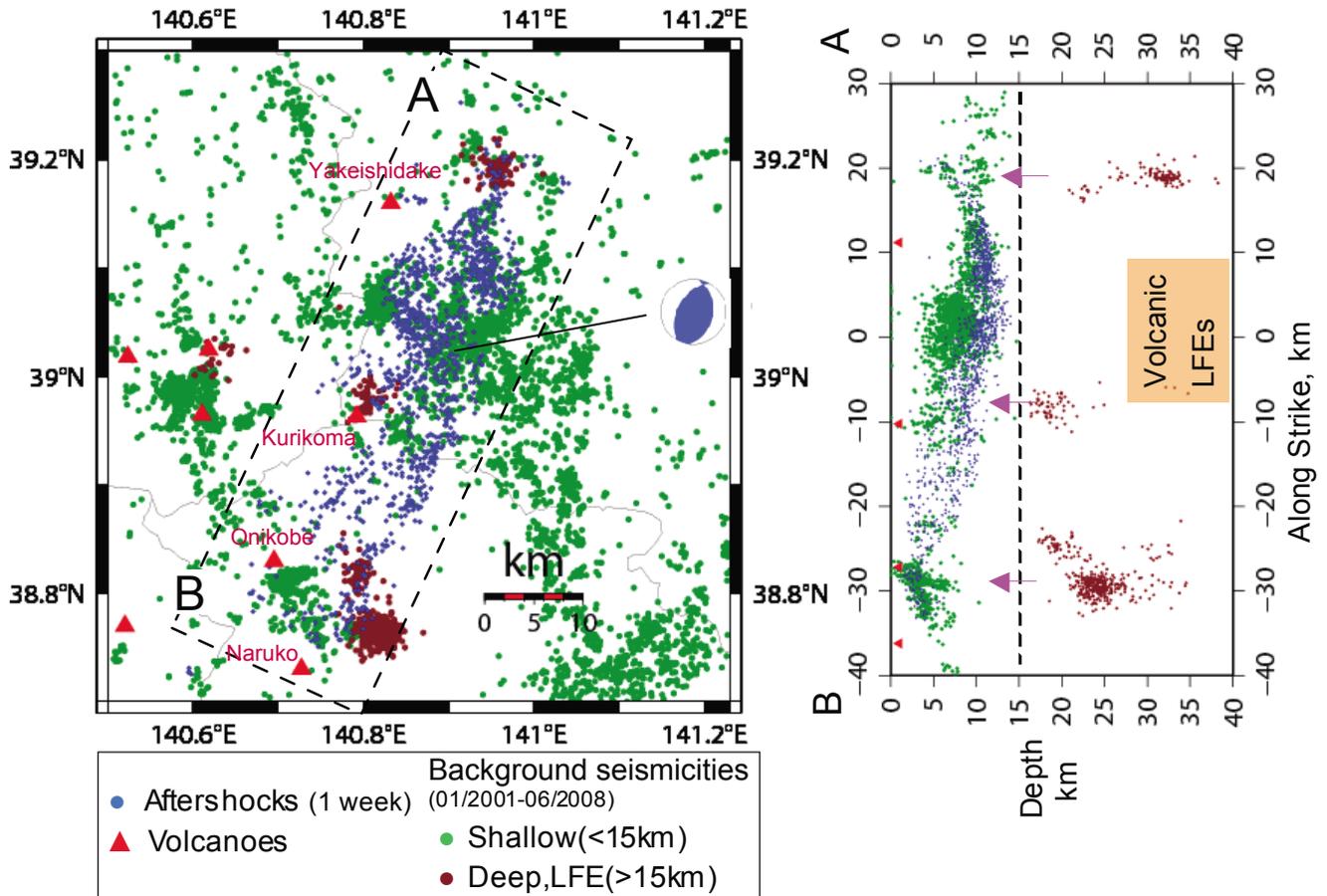


図2. 地震活動と火山活動の相補性. (左) マップビュー. (右) 断層走向に沿った断面.

異常の効果により、上部地殻が火山周辺で深部から熱せられ、脆性-塑性遷移領域の深さが浅くなっていることを強く示唆している。また、マグマに含まれる地下深部から運ばれてきた水も地殻の軟化に影響しているだろう。これら火山周辺で地温勾配が大きいことは、田中他（2004）の地熱データからも明らかである。

微小地震のデータであれば、跡津川断層等の他の火山地帯にある断層で既に得られている。しかし、岩手・宮城内陸地震でより重要なのは、SARにより面的に高解像度で本震時の地殻変動が観測されたことである。

図3（左）に観測された地震時の地殻変動を示す（解析は産総研の奥山哲氏による）。本震は、地表断層調査等から、大局的には西北西傾斜の逆断層だと推定され、赤色で示された隆起している領域が概ね震源域に相当する。ここで特徴的なのは、次の3点である。（1）赤い領域が全体的に琵琶湖のような破

壊開始点の南がくびれた形をしている。（2）破壊開始点の南側に大きな、北西側にやや大きな、隆起域がある。（3）栗駒山周辺で顕著であるが、震源域西側の縁に沿ってピークとも言える大きな隆起があり、そのすぐ西側で今度は大きな沈降がある。仮に断層面上に一様な滑り分布を考えれば、このような隆起のピークは地表に近い震源域東側に生じるので、それに反するこの観測事実は、震源断層の下端付近に沿って、大きな滑りが生じていたことを示唆している。

つまり、次の2点が、今回の地震で内陸活断層の深部延長を議論できる重要な条件である。（1）火山起因の熱異常などにより、地震発生層の下端深度が走向方向に大きく変化しており、その変化が観測可能であること、（2）この本震が低角の逆断層であり、地表の地殻変動観測で断層深部の滑りを拘束しやすいことである。

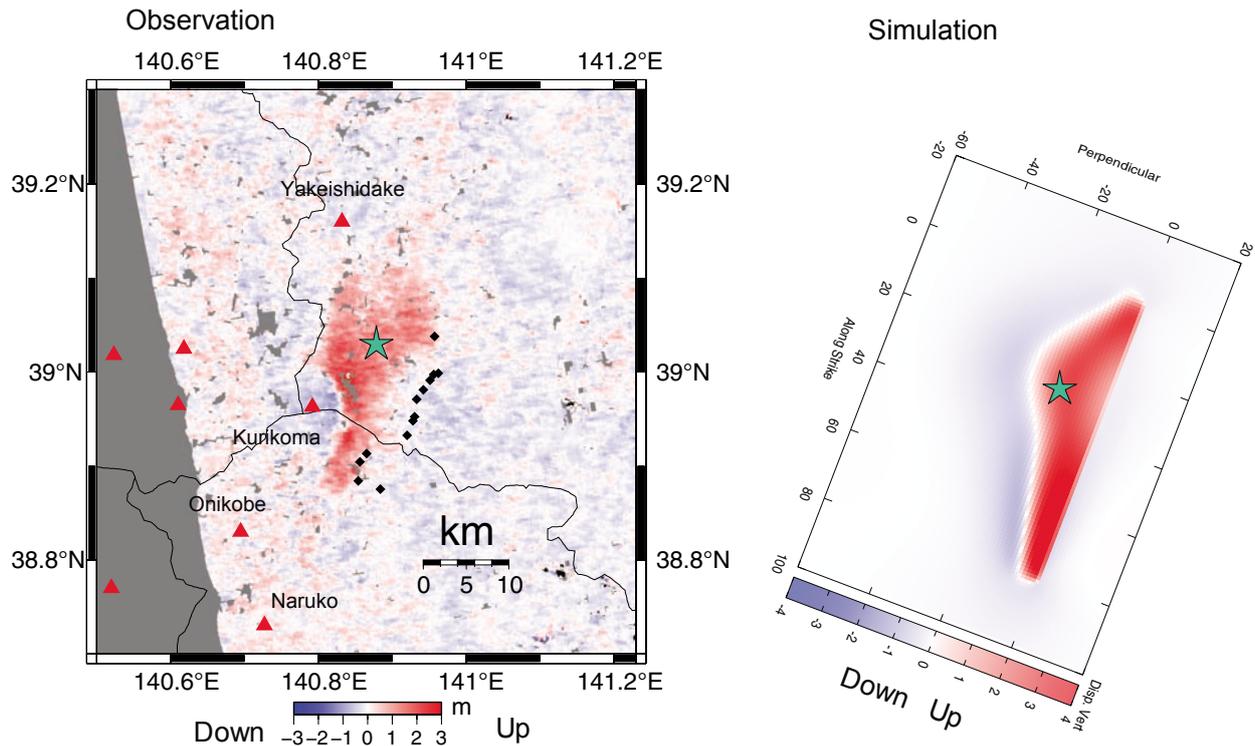


図3. 地震時の地殻変動上下成分。(左) SARによる観測結果(解析は奥山哲による.)。星印は破壊開始点, 黒菱形は見つかった地表地震断層。(右) 計算機シミュレーション結果。

計算機シミュレーションが明らかにする活断層深部延長の剪断帯

滑りの不均質は、何らかの物理的背景があり生じているだろう。今回推定される断層の下端に沿うような大きな地震時滑りは、どうしたら力学的に実現可能だろうか？ここで重要なのが、応力蓄積過程における下部地殻の剪断帯の役割であると、筆者らは考えている。

我々は、図1で示したような、地震間に固着している上部と定常滑りしている下部からなる断層モデルを考えている。ここに、固着域(地震発生層)下端の深度変化を断層走向方向(図1では紙面垂直方向)に考慮するのである。この深度は、図2(右)の微小地震分布より決定できる。

図4(上)に、シミュレーションにより得られた、地震前の応力分布(上図)を示す。地震発生層の下端深度が変化している様子は、この応力分布を見ると分かりやすい。このモデルでは、地震前には断層の下半分は定常的に滑り応力を開放し、上半分が固着して応力を蓄積している。従って、図4(上)において、V字型の応力が集中している領域が、固着域下端付近、その下の黒い部分が定常滑り域である。

ここで、もし、このような断層下部の定常滑りがなければ、地震発生層下端周辺への応力集中は生じないことに、注意すべきである。

図4(上)の応力状態のもとで破壊が生じ、最終的に一回の地震で滑った量の空間分布が図4(下)である。地震時滑り分布は、地震前に蓄積された応力が大きいところで、やはり大きくなる傾向がある。ここで滑り分布も、応力分布に似たV字型が現れるのはそのためである。さらに、断層の右上部に大きな滑りが生じているのは、下端深度が浅くなり、破壊が地表面に達したためである。そこでは自由表面との相互作用で滑りが大きくなる。

このシミュレートした断層滑りが地表面でつくる上下変位を示したものが、図3(右)である。図3(左)の観測値と比較すると、全体的な変位のパターンをよく再現していると言える。昨年の緊急調査において、震源南側の荒砥沢ダム北方や、北側の国見山のサイトではの木立北方など断層中央部より大きなズレが観察されたことも、この結果から見れば不思議なことではないだろう。ごく少数の仮定を用いた単純なモデルでここまで再現できるのは驚くべきことである。もちろんより短波長の不均質の再現性はない。

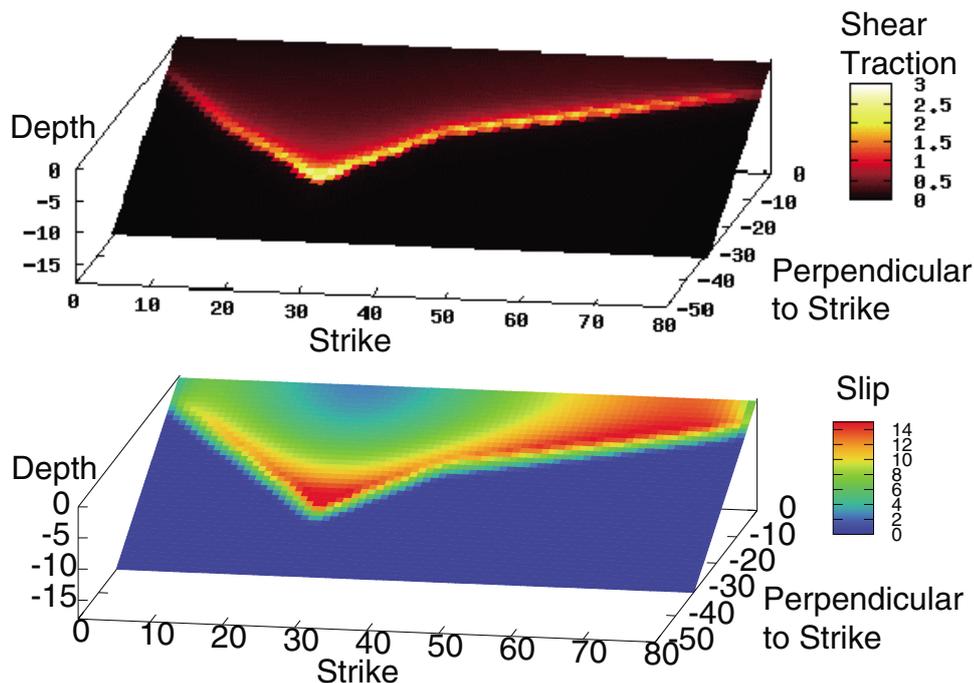


図4. 深部滑りによる断層上の不均質. 断層面の俯瞰図. (上)地震前の応力分布.
(下)地震時滑り量分布.

言うまでもないが、今回の結果は単に地殻変動の観測値を説明するような断層滑り分布を推定した結果ではなく、地震活動や地熱構造という独立なデータから物理モデルを拘束し、それにより得られた結果が地殻変動の観測とよく合ったということである。すなわち、異なる現象を、力学的な整合性をもって統一的に説明していると考えられるのである。

今回構築した物理モデルには、応力蓄積と地震破壊の過程が考慮されており、地震サイクルを扱うことができる。つまり過去の地震や将来の地震を考察できるのであり、今後、トレンチ調査で得られつつある活動履歴との比較など様々に興味深い研究が行えるだろう。

おわりに

活断層研究では、地表変状のみでは理解に苦しむ現象にしばしば出くわす。今回のイベントは、しかし、地下深部まで考慮すればすっきりと理解できることがある、という好例ではないだろうか。将来の地表変形による災害を予測する上でも、地下深部の理解が重要であるということであろう。

謝辞

地震活動の解析には気象庁一元化震源データを使用した。地殻変動解析に用いた PALSAR データは ERSDAC から提供を受けた。PALSAR データの所有権は経済産業省および JAXA にある。以上、記して感謝いたします。

参考文献

- Ando, R., 2008, "Physical model of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku, Japan, earthquake: Frictional heterogeneity due to geothermal anomaly", 7th General Assembly of Asian Seismological Commission.
- Ando, R. and S. Okuyama, 2009, "Lower crustal roots of active faults", in preparation.
- Scholz, C. H., 2002, "The mechanics of earthquake and faulting", 2nd ed., 471pp, Cambridge Univ. Press.
- 田中明子・山野 誠・矢野雄策・笹田政克, 2004, 日本列島及びその周辺域の地温勾配及び地殻熱流量データベース, 数値地質図 DGM P-5, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.

タイ南部沿岸の堆積物に記録された過去の巨大津波

Jankaew et al. (2008) Medieval forewarning of the 2004 Indian Ocean tsunami in Thailand. Nature, 455, 1228-1231 の紹介

澤井祐紀 (海溝型地震履歴研究チーム)

論文概要

活断層研究センターでは、Chulalongkorn University (タイ), US Geological Survey, Geoscience Australia, University of Washington との共同研究として、タイ南部の Phra Thong (プラトン) 島で古津波痕跡についての調査を行ってきました。調査の結果、海岸線に近い過去 2500 年間の地層中から、4 層の津波堆積物を発見しました。最も新しい津波堆積物は 2004 年スマトラ島沖地震によるもので、それ以前の津波堆積物は 2004 年と同規模の津波が過去に繰り返し発生したことを示しています。放射性炭素年代測定の結果から、巨大津波は 2004 年以前では約 550-700 年前以降に 1 度発生していたことが推定されました。

1. 研究背景

2004 年以前のインド洋では過去 200 年間に於いてマグニチュード (M) が 8 クラスまでの地震しか観測されておらず、その間一帯の人々は津波による大

災害を経験してきませんでした。そのために津波に対する備えがなされず、2004 年スマトラ島沖地震の際に史上最悪の津波災害となったと考えられます。2004 年以降は、過去にどのような地震がどれくらいの頻度で起きていたかを知るため、多くの地質調査が行われるようになりました。本研究はその一環として行われたものです。

2. 調査地のプラトン島とは

私たちが調査を行ったプラトン島は、2004 年の津波の際にマレー半島において最大の浸水高 (およそ 20 m) を記録した場所です (Tsuji, Y. et al. 2006, Earth Planets Space 58, 223-232)。この島では、京都大学の藤野滋弘 博士 (現:産総研活断層研究センター特別研究員) が中心となって 2005 年 10 月に予備的な調査を行い、津波堆積物の存在を指摘していました。私たちは、さらに研究調査地域を拡げるとともに、現海岸線に近い湿地において詳細な地形・地質調査を行うことにしました (図 1)。

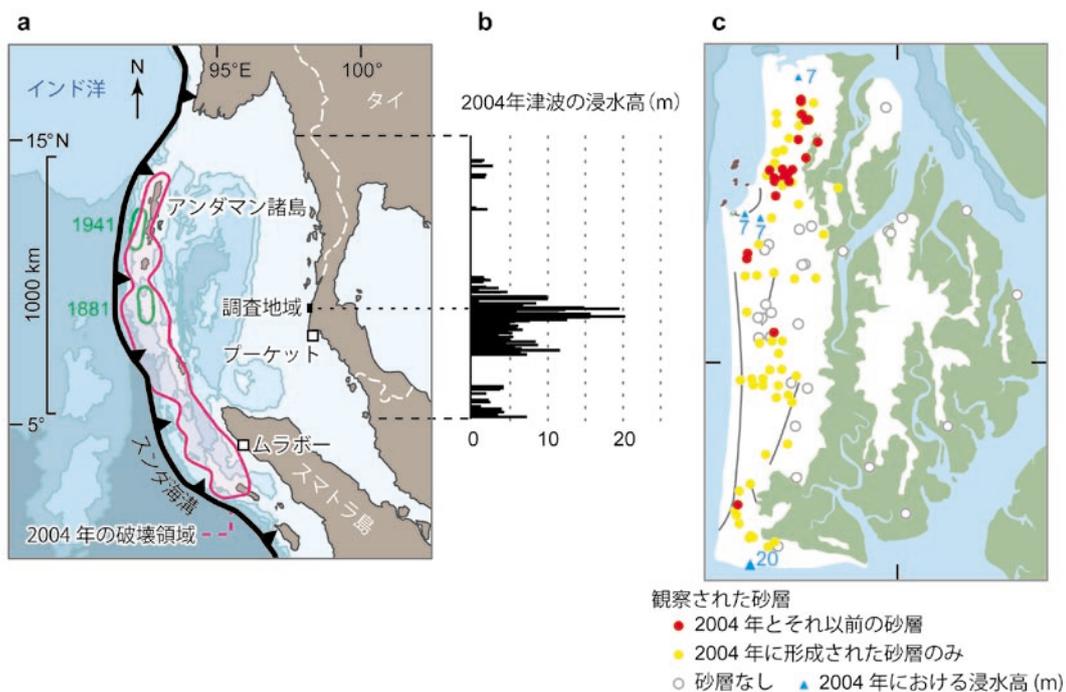


図1 調査地域。a: スンダ海溝北部と調査地域周辺。b: これまでに報告されているミャンマー～マレーシアにおける津波高 (浸水高と遡上高が混在している)。c: 調査地点。(© Nature)

3. 湿地で見つかった砂層

海岸に近い2つの湿地では、泥炭質の堆積物の中に3～4枚の砂層が見つかりました(図2)。このうち、一番上のものは2004年の津波によって運ばれたものです。それらの湿地では、堆積物の詳細な観察や年代測定試料採取のため、ボーリングコアの観察、ピット掘削、長さ35mに達するトレンチ掘削を行いました。2004年以前に堆積した砂層は、粒度の変化などが良く似ていることや、その平面的な広がりなどから過去の津波堆積物と考えられました。この津波堆積物の直下の地層から植物遺体を採取して年代測定を行ったところ、津波堆積物はそれぞれ550-700年前以降、2200-2400年前以降にたまったと推定されました。このうち、若い方の津波堆積物はスマトラ島ムラボーで新たに発見された津波堆積物(Monecke et al., 2008, Nature, 455, 1232-1234)に対比される可能性があります。もし対比できるなら、この津波堆積物を残したイベントは非常に大きなものであった可能性があります。

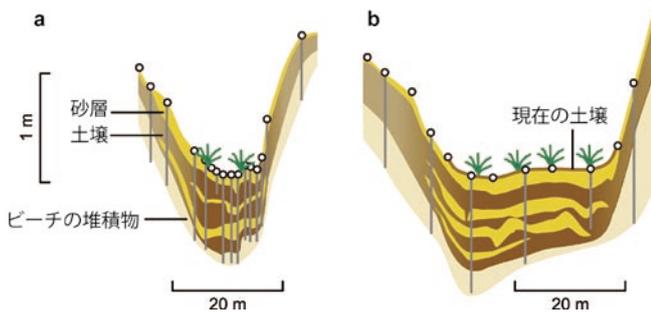


図2 湿地 (a: 海側, b: 陸側) における砂層の分布。(© Nature)



ピットの写真。一番上の砂層(□)が2004年の津波によるもの。それより下(○)が2004年以前の津波によるもの。(© Nature)

4. 論文には書けない現地の話

最後に、論文には書くことができない現地での小さな(苦勞)話などを報告します。

木に登って津波から逃れた人たち

多くの現地の人々は、ココナツの木に登るなどしてこの津波をしのいだと聞きます。正直なところ、はじめは「そんなに早く木に登れるものだろうか」と思っていました。ある日彼らの木登りを実際に目にして納得しました。彼らは普段からココナツなどを樹上から採取しており、非常に木登りが上手なのです。あの速さであれば、確かに津波から逃れることも可能でしょう。



現地の方の木登りの速さを目の当たりにした瞬間。

津波による家財への被害

調査中の移動には、トラクターに荷台をつけたような車を使用しました。島に残った数少ない自動車です。2004年以前にはもっと多くの自動車があったのですが、ほとんどのものは津波により海水に浸ってしまったようです。

津波の浸水は、自動車だけでなく各家庭の発電機にも及んでいます。私たちがお世話になった民家では、津波の後に小さい太陽光発電モジュールが導入されていました。その小さいモジュールでその家庭の全てを賄わなければいけないので、当然簡単にブレーカーが落ちます。ノートパソコンを使用する作業は、バッテリーを使用して最小限におさえる必要があります。ノートパソコンを同時に3台使うと、ブレーカーが落ちてしまうからです。

調査中の暑さ

タイには雨期、乾期、暑期が存在し、雨の降らない乾期以降が野外調査シーズンとなります。私たちの調査手法であるピット掘削の場合は地下水位がある程度下がっている必要があるため、必然的に乾期の終わりから暑期にかけての一番暑い時が調査時期になってしまいます。私はこの暑さへの適応に一番苦労しました。まず朝起きて気温計を見ると30℃を記録していることが普通でした。日中にも気温はどんどん上昇し、ある日は40℃を超えることもありました。何もしなくても目眩がしそうな暑さですが、調査隊はそんな環境でも歩いて調査地を探したり、穴を掘り続けなければなりません。熱中症だけは避けたかったので、掘る(歩く)→その場で休む→掘る(歩く)→木陰で休む→水分補給の繰り返しです。時には研究者同士で顔を見合わせ「もう止めようか」という雰囲気は漂いますが、そこを堪えて調査を行いました。調査地の近くに小さな飲み屋があったのですが、そこでのコーラと魚の塩漬の味は忘れられません。



プラトン島でのピット掘削風景。

爬虫類天国

調査地のプラトン島には実に多くの爬虫類がいました。茂みを歩いていてもトカゲやヘビを普通に見かけます。小さなトカゲくらいならかわいいものですが、体長1mはあろうかというオオトカゲに遭遇したときにはかなり驚きますし、小型でも毒のあるヘビには気をつける必要があります。対応にちょっと困るのは、毒があるかどうかは良くわから

ないもの達です(実際には、そういうものがほとんど)。暗いトイレの中で出てくるものにはそういった判別できない連中が多いので警戒が必要です。

タイの調査で改めて気がついたのは、こうした爬虫類がいろんな音や声を出しながら生活しているということです。ヘビの威嚇音、被食者が出す断末魔の叫びは、熱帯のジャングルに響きます。日が暮れてしばらくすると、ヤモリの合唱が始まります。タイの田舎では、そんな声に囲まれながら夜をすごすこととなります。

昆虫に注意

野外調査で常に研究者を悩ますのは昆虫ではないでしょうか。蚊、ダニ、ノミなどの吸血昆虫類に刺されたときの痒みや痛みには集中力を乱されまじすし、刺された後の痒みで寝付けずに体力がじわじわと削られていくこともあります。私たちがお世話になった民家では、そうした昆虫の対策として煙を使います。ココナツの実を風上で燃やし、煙で小さな虫を燻し出してしまうのです。この燻し出しは数時間ごとに行われ、虫がいなくなったわずかな時間を使って食事を取ったりします。

吸血昆虫のほかにも、スズメバチ類には気をつける必要があります。暑さのため集中力が下がり気味ですが、低い羽音が聞こえたらすぐに立ち止まって周囲を観察する余裕が必要です。万が一のため、応急処置セットは常に持ち歩きます。



燻し出しに使うココナツの実。

以上、昨年出版されたタイの津波堆積物に関する論文を紹介しました。今回記したタイでの研究のほか、国内外の研究者によってインド洋の各地で古地震・古津波痕跡に関する調査が精力的に進められています。それらの結果を総合的に解釈して、スンダ海溝における古地震履歴が明らかになっていくと考えられます。

フィールド, トレンチ情報



2009年2月22日-2月25日

石狩平野中央部微動探査

吉田邦一

2009年2月22～25日の日程で石狩平野中央部の江別市と当別町にまたがる地点において微動探査を実施した。今回の研究課題は、東京測振(株)が開発した小型・可搬型長周期微動計 VSE-15D6 を用い、この地震計の長周期微動の測定における性能評価を目的としている。今回の測定に先立つ実験から、この地震計は風の影響を受けやすいことと、地面とのカップリングの問題が指摘されていたので、その影響を一切受けずに微動の測定を行える、雪中での観測を行い、センサーの長周期微動に対する特性を明らかにすべく測定を実施した。

当初の予定では2009年2月20～24日の日程であったが、20日は強い低気圧が日本列島を通過し、天候が非常に悪く、北海道への移動を行うことができなかった。そこで、日程を2日遅らせて実施した。測定を実施した23日の時点で、測定地の天候は比較的良好であったが、北海道の東側には低気圧があったためか、微動レベルは非常に高く、微動観測のためには良好な条件であった。観測では、地震計の設置方法に特徴がある。まず、測定地点には1m程度の雪が積もっていたが、地面あるいは(雪が十分締まって固まった)氷が露出するまで穴を掘り、そこに地震計を設置し、その後雪で埋め戻した(写真1, 2)。この作業により、雪中の地震計には風の影響から完全に遮断できると考えられる。

このようにして測定を行った結果、本測定以前の測定結果と比較して長周期側まで安定した結果が得られた。今後、解析を進め、センサー特性の評価と、測定地点の地下構造を明らかにする予定である。



写真 地震計の雪中への埋設の様子。

活断層研究センター活動報告
(2009年2月～3月)

2009年2月2日

原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会 WG2 第12回会合(加瀬出席/東京)

北陸電力株式会社 志賀原子力発電所周辺の活断層と基準地震動について、説明および質疑応答が行われた。

2009年2月3日

地震・津波、地質・地盤合同WG(杉山・岡村出席/東京)
北陸電力志賀原発の耐震安全性について審議し、基本的に了承した。

2009年2月6日

原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 第15回会合(加瀬出席/東京)

東京電力株式会社 柏崎刈羽原子力発電所の施設の耐震安全性評価、7号機の系統機能試験(タービン関係を除く)に関する検討状況、および、北陸電力株式会社 志賀原子力発電所のWG2における検討状況について、説明および質疑応答が行われた。

2009年2月17日

地震調査研究推進本部地震調査委員会長期評価部会第44回活断層評価分科会(吉岡出席/東京)

2009年2月17日

原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 第17回会合(加瀬出席/東京)

東京電力株式会社 柏崎刈羽原子力発電所7号機の耐震安全性評価、中越沖地震後の施設健全性評価、および、北陸電力株式会社 志賀原子力発電所2号機耐震安全性に係る中間報告の評価について、説明および質疑応答が行われた。

2009年2月17日

首都直下地震プロジェクト運営委員会(杉山出席/東京)
本年度の研究成果と21年度の研究計画について議論した。

2009年2月18日

新潟県地震・地質小委員会(杉山出席/新潟)
F-B断層などの審議内容の取りまとめ文案について議論した。

2009年2月23日

地震動予測地図高度化WG(杉山出席/東京)
予測地図概要版の草稿について議論した。

2009年2月23日

地震調査研究推進本部第85回強震動評価部会(粟田出席/東京)

標記部会に委員として出席し、地震動予測地図の計算状況と公開に向けての課題、長周期地震動予測地図の計算状況と公開に向けての課題について審議した。

2009年2月25日

地震・津波、地質・地盤合同WG Cサブグループ(杉山・岡村出席/東京)

若狭湾周辺の活断層の全体的な評価について議論した。

2009年2月25日

地震調査研究推進本部地震調査委員会第144回長期評価部会(吉岡出席/東京)

2009年3月3日

地震・津波、地質・地盤合同WG Cサブグループ(岡村出席/東京)

若狭湾周辺の活断層の全体的な評価について議論した。

2009年3月5日

歪み集中帯運営委員会(岡村出席/東京)

防災科学技術研究所が中心になって進めているプロジェクト「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究」の2008年度研究成果報告が参加機関によって行われた。

2009年3月9日

3月定例地震調査委員会(岡村出席/東京)

2月の地震活動(特に北海道と東北)、茨城県沖及び高田平野の長期評価、岩手・宮城内陸地震のSAR干渉解析、活断層評価手法の高度化窓について議論した。

2009年3月12日

宮城県沖地震における重点的調査観測運営委員会(岡村出席/仙台)

2005年から始まった「宮城県沖地震における重点的調査観測」の今年度の成果と次年度の計画について、研究担当者から説明があった。

2009年3月13日

原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 地震・地震動評価委員会及び施設健全性評価委員会 WG2 第16回会合(加瀬出席/東京)

若狭地区の活断層と基準地震動について、説明および質疑応答が行われた。

2009年3月13日

原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 解析技術等作業会合(加瀬出席/東京)

新耐震指針に基づく既設原子力施設の耐震安全性の評価結果に対するワーキング・グループにおける検討のポイントについて、議論が行われた。

2009年3月17日

地震調査研究推進本部地震調査委員会長期評価部会第45回活断層評価分科会(吉岡出席/東京)

編集後記：活断層研究センターニュース(AFRC NEWS)は、今回のNo.85をもちまして最終号となりました。皆様のこれまでのご支援に感謝いたします。4月から組織改編に伴い活断層・地震研究センターとして、引き続きセンターニュースを発行する予定です。これからもご支援、ご協力のほど宜しくお願い申し上げます。

お問い合わせ

AFRC



独立行政法人
産業技術総合研究所 活断層研究センター

〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-1 中央第7事業所
Tel: 029-861-3691 Fax: 029-861-3803
URL: <http://unit.aist.go.jp/actfault/activef.html>

2009年3月19日発行
AFRC NEWS No.85 / 2009年2月, 3月号

編集・発行 独立行政法人 産業技術総合研究所
活断層研究センター
編集担当 黒坂朗子