

Contents

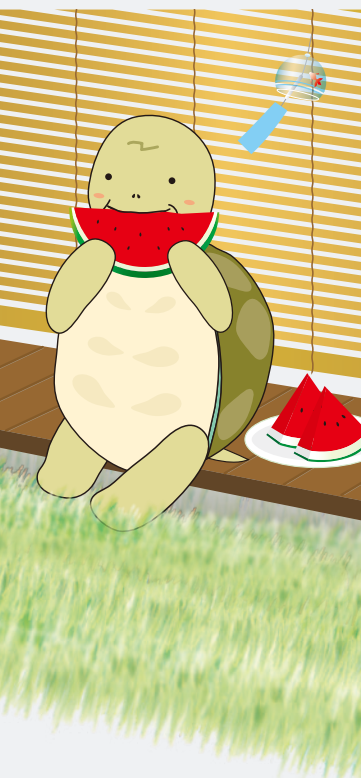
● 産総研つくばセンター一般公開・チャレンジコーナー「地震の起こる様子を目の前で見てみよう」出展報告
… 1

● 水が関与する地震発生プロセスの実験的検証：モニタリング手法の開発 … 5

● INQUA BERN 2011 参加報告 … 8

● 澤井祐紀 研究員が Sir Nicholas Shackleton Medal を受賞 … 9

● 外部委員会活動報告
2011 年 7 月 … 9



産総研つくばセンター 一般公開・チャレンジコーナー「地震の起こる様子を目の前で見てみよう」出展報告

高橋美紀, 佐藤隆司 (地震素過程研究チーム)・今西和俊 (地震発生機構研究チーム)・武田直人 (地震地下水研究チーム)・住田達哉 (地質情報研究部門・地球物理研究グループ)

7月23日(土), 産総研つくばセンター一般公開に「地震の起こる様子を目の前で見てみよう」というチャレンジコーナーを出展しました。当日のお天気は曇り, 気温もさほど上がらず涼しく過ごしやすかったです。このコーナーは地震の原因である岩石の破壊と滑りを体験・観察してもらうことを目的としています。高橋・佐藤は岩石を使った破壊実験を担当し, 今西・武田はバネブロックを使った滑り実験を担当しました。破壊実験とバネブロック実験はほぼ20分おきに交互にそれぞれ計7回実施しました。

破壊実験では, 花崗岩と砂岩の円柱試料を手押しポンプで軸荷重をかけ破壊させます。実際に実験室で使用する機材を持ち込み, 見た目は大掛かりな構成です(写真1)。試料には歪みゲージを貼り, 試料をはさむスペーサーにはAEセンサーが組み込まれています。岩石試料にかかる荷重・歪み・1秒当たりのAEのカウント数および破壊時の試料の様子も一台目のモニターに表示しました。捉えられたAEの波形は二台目のモニターに表示しています(写真2)。AEとは微小クラックの生成によって発生する弾性波のことでAcoustic emission (音響放射)の略称です。しかし人間の耳では聞こえません。そこでAE



写真1 破壊実験の構成: 中央に載荷枠, 机の上にモニター, 机の下に計器類を配置。岩石の破片が飛び散っても見学者に当たらないよう載荷枠の周囲をアクリルの箱で覆っています。

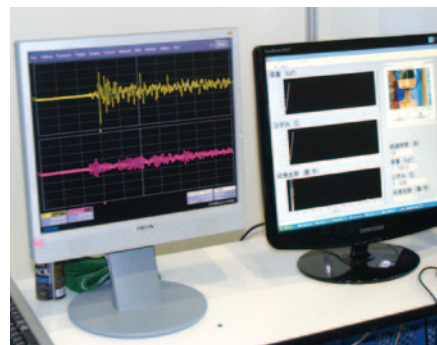


写真2 モニターに映し出されるAE波形の例。モニター上部(ピンク)は試料上部のセンサーで捉えた波形, 下部(黄色)は試料下部のセンサーが捉えた波形。

の発生に応じて短いブザー音が出るよう、ファンクションジェネレーターを通して可聴音をスピーカーから出力するようにしてあります。こうすることで、最終破壊に近づくにつれAEが急増する様子を絶え間なく鳴り続けるブザー音で感じることが出来ます。佐藤より用意した展示ポスター（図1）を差しながら破壊実験の説明があった後、高橋が花崗岩試料に軸荷重をかけ、デモを行いました。その後、見学者の中から希望者に砂岩試料を破壊してもらいました。

花崗岩（Westerly 花崗岩、直径 15mm）の破壊実験では、AE も多く発生し、破壊に至るまでAEが急増する様子（ブザー音鳴りっぱなし！）をより感じ取れます。荷重をかけていく最中に発生するAEの波形モニターを差しながら実際の地震でも破壊によって地震波が発生しているという説明も忘

れません。[最終破壊に至るまで 2.5ton（軸応力にして約 140MPa）以上の荷重を手押しポンプで作らねばならないことと、破壊後に荷重が急激に抜けるときにケガをする可能性があることを考慮し、高橋がデモを行いました。] 花崗岩試料の後は希望者（ほとんどが小学生）に砂岩試料（白浜砂岩、直径 20mm）の破壊実験を実施してもらいます。砂岩試料は 1.3ton 程度（軸応力にして約 40MPa）で破壊します。AE の発生は少なく、あっさり破壊してしまうのですが、それでも最終破壊に至ると「ガン」という音とともに岩石が粉々に飛び散り、それまでドキドキしながら（？）モニターや試料に見入っていた見学者もビクッと反応し、「びっくりした～」と口々に言われます（写真3）。粉々になった花崗岩・砂岩のかけらは希望者（ほとんどが小学生）に持ち帰ってもらいました。

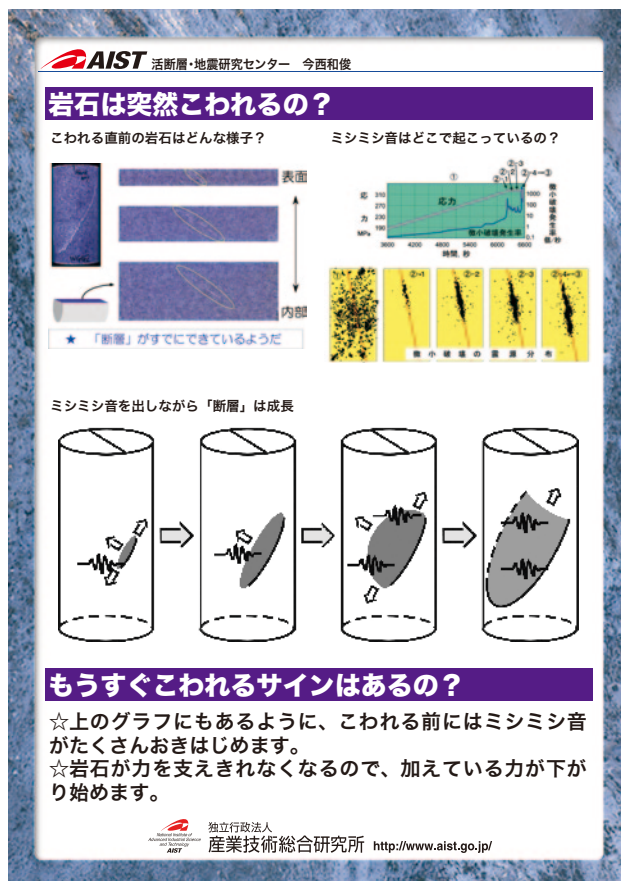
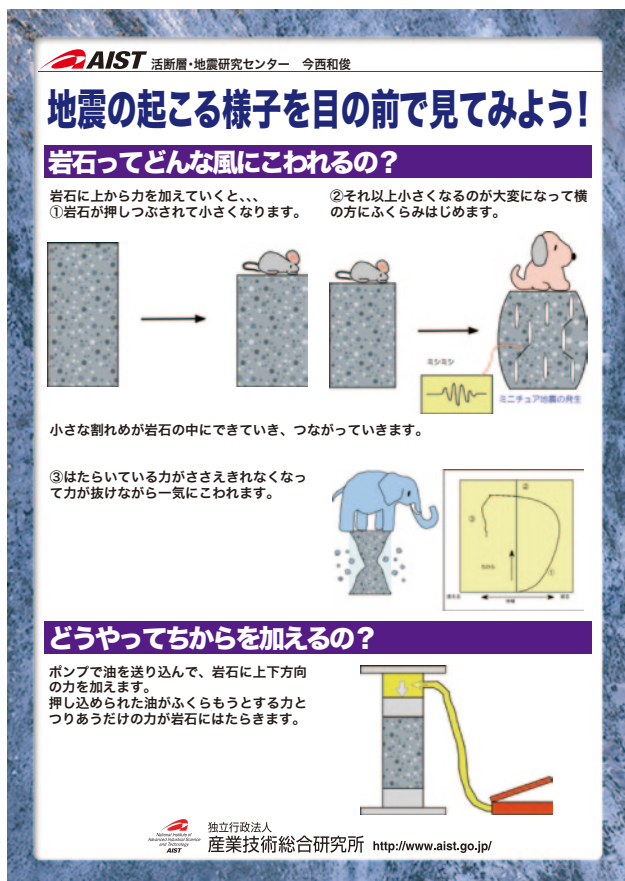


図1 解説に使用したポスター。



写真3 手押しポンプで加圧中！皆の熱い視線の先には壊されつつある岩石試料！

破壊実験の後はバネブロック実験へ交代です。プラスチック容器に重りを載せ、それらをバネでつなぎます（写真4）。見学者に容器3つをバネでつないでゆっくり引っ張ってもらおうと、最初は手前の1つ目の容器のみ動きますが、次第に容器間に応力が蓄積され（容器と容器の間のバネが伸びていきます）、最後に全ての容器が連動して動いて大きな地震（連動地震）になる様子を観察してもらいました（写真5）。3月11日の東北地方太平洋沖地震もこのようにいくつかの断層が連動して巨大地震になったことを解説し、理解してもらえたと思います。実験では容器間のバネの伸びから応力蓄積の様子が一目でわかり「もうすぐ連動するぞ」と地震予知が可能なのですが、実際の地震では応力蓄積の様子を観測から明らかにできるほどには至っていないことを説明し、地震予知の難しさを理解してもらえたのではないかと思います。

バネブロック実験は、全て簡単に手に入る材料で構成されていますので、夏休みの自由研究としても持って来いなのですが、バネの強度・引っ張り具合や容器と床面の間（滑り面）の摩擦をうまく選んであげないと思うような動きにならない難しい部分もあります。今後「我々の展示をお手本としてもらう」という意味では改良の余地がありそうです。

どちらの実験も沢山の見学者に訪れていただき、概ね良い反応を得られたと思います。見学者には地震の原因である岩石の破壊と断層の滑りを体験・

観察してもらいましたが、破壊実験とバネブロック実験をつなぐ説明が欠けていて、この2つの実験の関連性までを見学者に理解してもらえていたか疑問です。また、活断層・地震研究センターから出展されていたもう一つのチャレンジコーナー「地震を測ってみよう」では地盤の硬さと揺れの大きさの関係について解説されていたのですが、地震に関連するこれら一連の現象（破壊・滑り・揺れ）を一つのストーリーで見学者に見てもらえるように展示の構成を工夫すれば、より面白く、見学者の理解も深まるだろうと思いました。

一般公開において地質分野では3年前からスタンプラリー風のジオドクトルという企画を行っており、小学生だと5か所以上の地質ブースを回りフィールドノート（図1）を集めるとジオドクトルの証明書が発行されます（住田・他2010）。ジオドクトル2011証明書を受け取った人数は62名で、内30名が当コーナーを訪れていました。同時に行ったアンケートの結果（住田による集計）によると、

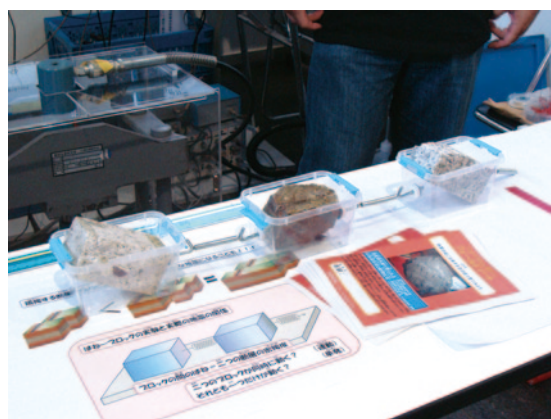


写真4 バネブロック実験の構成：プラスチックの容器3つに重りを載せてバネでつなぎます。



写真5 バネを引っ張る見学者。そろそろ連動するかな？

当コーナーを一番面白かったと挙げてくれた2名の子供たちは実際に破壊実験を体験した子供たちのようです。2人は「初めて見た」・「迫力があつた」・「またやってみたい」という感想を残していることから、やはりデモを見ているだけでなく実際にやってみることにより、ポンプを漕ぐ力の変化、AEの発生に応じて聞こえる音・大きな破壊音とともにポンプにかかっていた力が急に抜ける感覚・粉々になる岩石などなど、五感を使って破壊実験を体験する

面白さを感じてくれたと思います。「これはできるだけ多くの子供たちに体験して欲しい！」と思うのですが、用意した岩石試料の数が限られていたため、少数の見学者しか実験を体験できなかった事を残念に思いました。安く大量に試料を用意できるよう準備も必要と感じました。

参考文献

住田・他 2010 地質ニュース 671 号 8 ページ



C15 地震の起こる様子を目の前で見てみよう

問題AがBどちらか一つ選んで答えてね。もちろん両方でもOK。

問題A 下の文章の[]の中の正しいほうに○をつけて文章を完成しよう。
岩石に上から力を加え、破壊が近づくとき岩石の中に小さな割れ目が発生します。割れ目ができると岩石の中にすき間ができるので、岩石の体積は「増加・減少」します。割れ目ができる時には振動（ミニチュア地震）が発生するので、振動を数えることで発生する割れ目の数を数えることができます。割れ目の発生数は岩石の破壊が近づくにつれて「増加・減少」します。

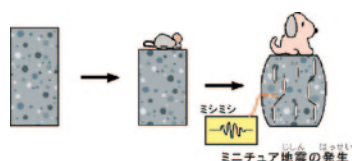
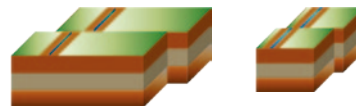


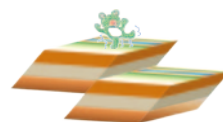
図2 当コーナーのフィールドノートの表紙と裏面。裏面にはブースに関連したクイズが付けられています。

問題B 下の①、②の説明が正しいと思ったら○を、間違っていると思ったら×を付けて下さい。

() ① 地震の規模（マグニチュード）は断層の大きさや動いた長さによって決まります。一般的に、大きな地震の方が断層サイズや動いた距離は大きくなります。



() ② いくつかの断層が近くにあると、その中の断層の一つが動いたら（地震を起こしたら）、その他の断層も全て同時に運動して動きます。





水が関与する地震発生プロセスの実験的検証： モニタリング手法の開発

増田幸治（地震素過程研究チーム）

1. はじめに

地下に存在する水や流体が地震の発生に関与することが知られています。地下の流体（例えば、水）が地殻の強度を急激に変化させ、それが地震の発生につながるということは十分考えられます。地下での水の流れや水圧の変化が、地震活動を誘発することなども観測から示唆されています。そこで、実験室内で、間隙水圧の変化や水の移動にともなう地震発生について調べています。

本論では、岩石試料内部へ高圧水が浸入していくに伴う変形過程中的、岩石内部のクラック形状（アスペクト比）と水の飽和度を、弾性波速度（P波速度、S波速度）と歪の測定データをもとに計算する手法を紹介します。測定データから岩石内部のクラック形状とその時間変化を推定しました。これは試料外部で得られる観測データより、岩石試料内部を侵入する水の位置や岩石内部の状態を推定するモニタリングの手法開発として行っています。

岩石試料への流体浸入に起因する割れ目の性状変化や飽和度を知ることは、地下亀裂の性質を知る上で重要です。CCS（CO₂ 地中貯留）など地下への流体注入時のモニタリングやデータの解釈にも有用です。ここで紹介する、弾性波速度などの観測データから、内部のクラックの形状や水の分布などを推定する手法は、自然界において観測データより地下の割れ目等の状態を推定するのにも役立ちます。

2. 室内実験

均質な構造をもつ花崗岩試料に封圧（30MPa）と破壊強度約 70% に相当する差応力（350MPa）を加え、その後は実験終了まで応力状態を一定に保ちました。差応力を加えたことによって発生した微小破壊（AE）活動が静穏化してから、試料下端面から一定の圧力（25MPa）で水を注入しました。試料は水の注入を開始して約 9 時間後から内部の微小破壊活動が再び始まり、さらにその約 9 時間後に微小破壊活動が急速に活発化したあと破断しました（図 1）。試料は直径 50mm、長さ 100mm の円柱形に整形したものを使用しました。

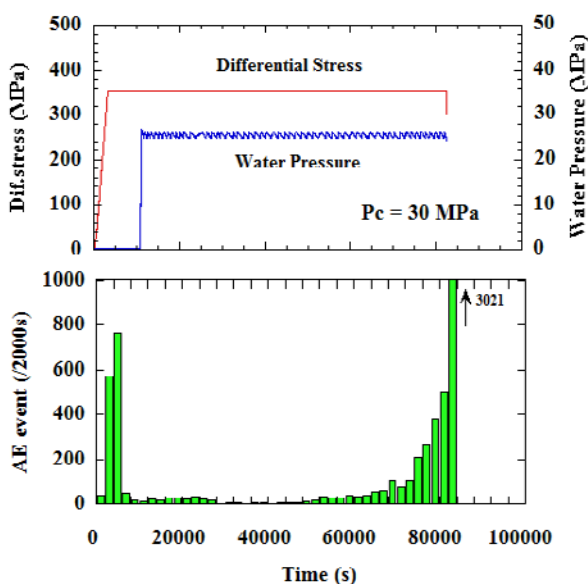
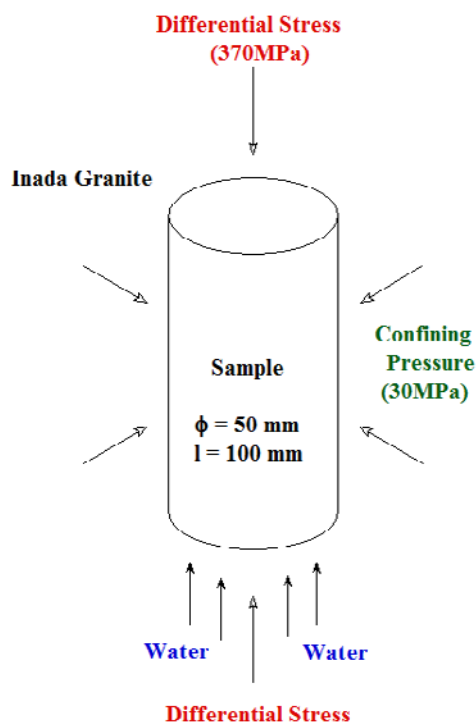


図 1 実験の経過。(左)実験の模式図。円柱形の岩石試料に圧力(封圧 Confining Pressure)、差応力(Differential Stress)を加えた後、下端面から一定の水圧で水を注入した。(右)実験の経過を時間(横軸)とともに示した図。上図は試料に加えた差応力の値と注入した水の試料下端面での圧力。下図は試料内部で発生した微小破壊(AE)の数。円柱形の試料全体に圧力(封圧 Pc)を加えた後、軸方向に差応力を加えて実験中一定に保った。差応力を加えたことで発生した微小破壊活動が静穏化した後、試料下部から一定の圧力で水を注入した。水注入開始後 9 時間くらい経過したあたりから試料内部に微小破壊が発生し、最終的には試料全体が破壊した。

実験中は、試料内部で発生する微小破壊によって放出されるアコースティック・エミッション (AE)、試料内部を伝播する弾性波速度 (P 波速度, S 波速度), 試料表面の歪を測定しました (図 2)。図 3 に P 波速度の測定データを示します。水が試料内部を下端面から上方に侵入していくにしたがって, P 波速度が変化していく様子がわかります。

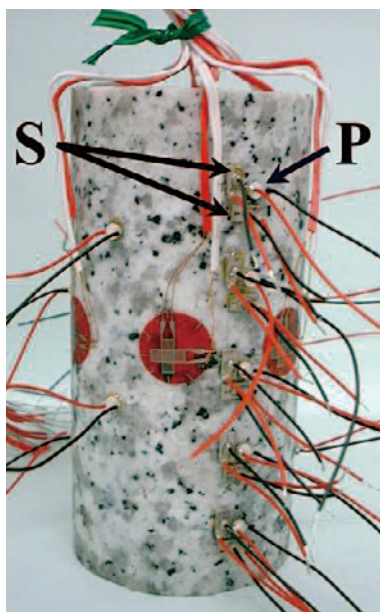


図2 試料とセンサーの写真。P, S で示されているのが、弾性波速度を測定するための AE センサー (P 波用と S 波用)。AE センサーは試料内部で発生した微小破壊を検出する小型地震計としての役割もある。試料中央部に貼ってあるセンサー (赤い円形) は試料表面の変形を測定する歪ゲージ。

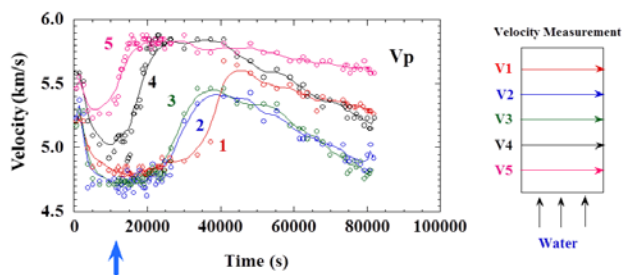


図3 弾性波速度 (P 波速度) のデータ。試料の両端面に平行な 5 つの経路 (V1~V5) を伝播する弾性波速度 (P 波速度) のデータを時間の経過に対してプロットした。水は試料下部から上方へ移動していくので、水の侵入に伴って弾性波速度が変化していく様子がわかる。矢印(青)で示した時から水の注入を開始した。

3. クラック形状とその時間変化の推定

弾性波速度と歪のデータから、岩石試料内部のクラック形状 (アスペクト比) と水の飽和度をみつめることができます (西澤・増田, 1991 など)。弾性波速度の変化は式 (1) のように、クラック密度パラメータ (ε) というパラメータを使って記述できます。クラック密度パラメータは式 (2) のように、クラックの形状を表すアスペクト比 (α) に関係しています。そこでこれらの関係式を使って、変形にともなう岩石内部のクラック形状 (アスペクト比) を計算することができます。

$$1 - \left(\frac{V_{p,s}}{V_0} \right)^2 = p_i \varepsilon \quad (1)$$

ここで、 $V_{p,s}$ は P 波速度または S 波速度、 V_0 はクラックが閉じた状態での弾性波速度、 ε はクラック密度パラメータ、 p_i は、弾性波速度の種類やクラックの飽和状態で決まる係数です。

$$\varepsilon = \frac{3}{4\pi} \frac{\phi}{\alpha} \quad (2)$$

ここで、 α はクラックのアスペクト比 (縦横比)、 ϕ はクラックの体積を表します。

今回の実験では弾性波速度に関しては P 波速度と S 波速度の両方を同時に測定しましたので、 V_p , V_s , 歪のデータを同時に満足するアスペクト比と飽和度の組を最小自乗法によって計算しました。破壊直前ちかくでは歪ゲージが破損したためデータがなく計算できませんでしたが、それ以前に関しては、クラック形状に関して次の結果が得られました。乾燥した試料に強度の約 70% の差応力を加えた状態でのクラックのアスペクト比は約 1/400 であった。水の浸入に伴って (試料の変形に伴って) クラックのアスペクト比は 1/400 から 1/220 くらいまで変化した (図 4)。

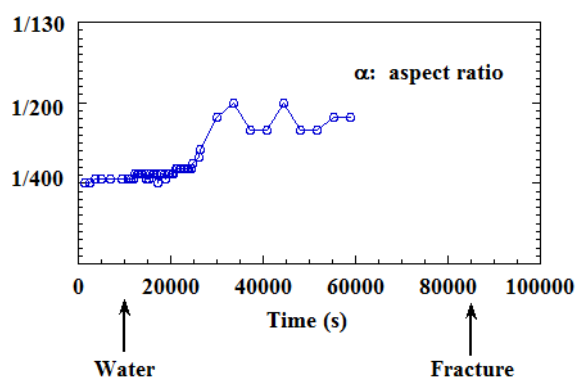


図4 岩石内部のクラック形状（アスペクト比）の時間変化。試料外部で測定した観測データより、試料内部のクラック形状変化の様子を計算した。水の注入を開始してから（矢印で Water と示した時から）しばらくして、試料内部のクラック形状が変化していくようすが推定できた。

4. まとめ

実験室内で、岩石試料中を移動する水によって誘発される破壊現象を再現して、水はどこまで侵入しているか、試料内部でどのようなことが起こっているか、を試料外部で観測したデータから推定する手法を紹介しました。実験室内では試料に加える応力などの条件をコントロールでき、また、各種データも取得することができます。したがって、実験室でさまざまな条件を制御した状態で、例えば今回紹介したモニタリング手法を開発し、それらを自然界での観測や野外実験に適用していくことで、地下の状態を推定する手法が開発できます。実験室でのモデル実験はこのような手法開発に貢献しています。



INQUA BERN 2011 参加報告

谷川晃一郎（海溝型地震履歴研究チーム）

2011年7月21日から27日の一週間、スイスのベルンにおいて国際第四紀学連合（INQUA: THE INTERNATIONAL UNION FOR QUATERNARY RESEARCH）2011大会が開催された。INQUA Congressは4年に一度行われて、今回で18回を数える。センターからは、吾妻、澤井、谷川が参加した。

主会場となったBERNEXPOはベルンの市街地からはやや離れていたが、ベルンの街には至る所にトラムとバスが通っており、大会参加者へは一週間乗り放題の切符も配布されたため、会場への移動は大変便利だった。BERNEXPO周辺の施設も利用されており、地元サッカーチームのホームスタジアムであるStade de Suisse内の会場では、ガラス張りの部屋からスタジアムを横目に眺められた。

大会初日には、優れた第四紀の若手研究者に送られるSir Nicholas Shackleton Medalが澤井に授与され、同時に澤井の講演が行われたが、残念ながら筆者は翌日にベルン入りだったため参加できなかった。大規模な大会のため全体の把握はできないので、以下は筆者の参加したものを中心に述べる。大会全体では地形・地質、古気候、考古学といった幅広い内容で、合計88のセッションが設けられ、毎日活発な議論が行われた。昼食後には体育館のような大きな会場で、各分野をリードする研究者の講演が毎日行われ、立ち見が出るほどの盛況であった。講演後にはポスター発表が行われ、筆者も「Late Quaternary records of coastal evolution」のセッションで豊岡盆地の完新世の海水準変動と古環境についての発表した。発表では、今まで受けたことのな

い指摘もあり、帰国後の課題の一つになった。このセッションは発表数が非常に多く、日本からも6件の発表があった。

大会4日目となる日曜日には巡検が行われた。ユングフラウや氷河地形の見学を中心に27の巡検が設けられており、筆者も「Glacial erosional landforms and the timing of LGM ice decay at Grimsel Pass」に参加した。この巡検には約20名が参加していたが、日本人は筆者だけであった。巡検ではベルンを流れるアーレー川を上流まで遡り、ユングフラウの西約30kmに位置するグリムゼル峠（標高約2600m）を目指した。ベルンからインターラーケンを経てアルプスの山々が近づいてくると、車窓からの景色は典型的なU字谷となり、道の両側の切り立った崖からは、いくつかの滝も流れていた。グリムゼル峠では約2万年前の最終氷期最盛期の氷河の範囲などについて説明があった。また、氷河底の基盤岩につけられた氷河擦痕が一面に残る巨大な露頭なども見学して、氷河地形についての知見を深めた。

大会を通して、最新の研究成果を知り、海外の著名な研究者の発表を聞くなど、国際学会ならではの充実した時間を過ごすことができた。しかし、英語が不得意な筆者は、質問の受け答えなどで苦労し、十分な研究のアピールができたとは言いがたい。

なお、今大会中に理事会の投票が行われ、多くの票を集めた名古屋が次回2015年大会の開催地として正式に決定された。次回の大会までより研究に励みたい。



著名研究者による講演の様子。



U字谷の風景。



澤井祐紀研究員が Sir Nicholas Shackleton Medal を受賞

2011 年 7 月 21 日から 27 日にかけて、スイスのベルン市で開催された国際第四紀学連合（INQUA）第 18 回大会において、海溝型地震履歴研究チームの澤井祐紀主任研究員が Sir Nicholas Shackleton Medal を受賞しました。この賞は、第四紀気候変動に関する著名な研究を行った Sir Shackleton（2006 年没）の功績を讃えて設けられた賞で、第四紀に関する幅広い分野の中で優れた研究を行っている若手研究者に贈られるものです。今回の受賞は、澤井研究員が共同研究者らとともに実施している津波堆積物調査に基づく北海道太平洋岸の巨大地震に関する研究が評価されたことによるものです。

この受賞に対する授賞式と授賞記念講演が、大会初日の 7 月 21 日午前中に行なわれました。開会式に続けての講演だったためとても広い会場で、聴衆の数は 1000 人を超えていたかと思います。講演前に話しかけたときには緊張した様子でしたが、始まってみれば堂々たる講演でした。今後の活躍を期待します。



外部委員会等 活動報告（2011 年 7 月）

2011 年 7 月 11 日

地震調査委員会（岡村出席 / 文科省）

平成 23 年 6 月の地震活動について 他

2011 年 7 月 12 日

原子力安全委員会 原子力安全基準・指針専門部会
地震・津波関連指針等検討小委員会（岡村出席 / 東京）

耐震設計審査指針及び関連の指針類に反映させるべき事項について 他

2011 年 7 月 19 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 7 回活断層分科会（吉岡出席 / 東京）

2011 年 7 月 20 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 2 回海溝型地震分科会（第二期）（穴倉出席 / 東京）

今後の海溝型地震の評価の方針について話し合った。

2011 年 7 月 25 日

地震防災対策強化地域判定会（小泉出席 / 気象庁）
東海地方周辺の最近の 1 ヶ月のデータを持ち寄って検討し、東海地震発生可能性について協議した。