

Contents

- 海溝型巨大地震に誘発された内陸活断層地震の緊急調査 … 1
- 2011 年地球惑星科学連合大会参加報告 … 8
- 外部委員会活動報告 2011 年 4 月末～5 月 … 8



海溝型巨大地震に誘発された内陸活断層地震の緊急調査

活断層評価研究チーム 吾妻 崇

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震は、M9.0 という日本における過去の地震記録に例のない巨大地震でした。

この巨大地震による地殻変動は日本列島の内陸にも大きな影響を及ぼし、本震が発生したプレート境界以外の場所でも地震活動が活発になった地域が各地にみられます。3 月 11 日の本震以降、内陸地殻浅部の M6 以上の地震としては、3 月 12 日の長野県・新潟県県境付近の地震 (M6.7)、3 月 15 日の静岡県東部の地震 (M6.4)、3 月 19 日の茨城県北部の地震 (M6.1)、3 月 23 日の福島県浜通りの地震 (M6.0)、4 月 11 日の福島県浜通りの地震 (M7.0) が発生しています (図 1)。これらの地震は広い意味では日本海太平洋沖地震の余震として扱われていますが、本震が発生したプレート境界から離れた場所で起こっていることから、誘発地震と考えられます。

活断層・地震研究センターでは、福島県浜通りの地震で生じた地表地震断層について緊急調査を繰り返し実施し、断層の出現位置や変位量の分布などの特徴を明らかにしてきました。また、茨城県北部の地震および長野県・新潟県県境付近の地震についても調査を行ない、明瞭な地表地震断層は認められないことを確認しました。以下に活断層・地震研究センターのホームページに掲載されている調査報告 (丸山ほか, 2011; 栗田ほか, 2011) とその他の調査結果に基づき、それぞれの緊急調査の概要をご紹介します。なお、各調査成果に関する詳細につきましては、ホームページに掲載されている調査報告をご参照下さい。

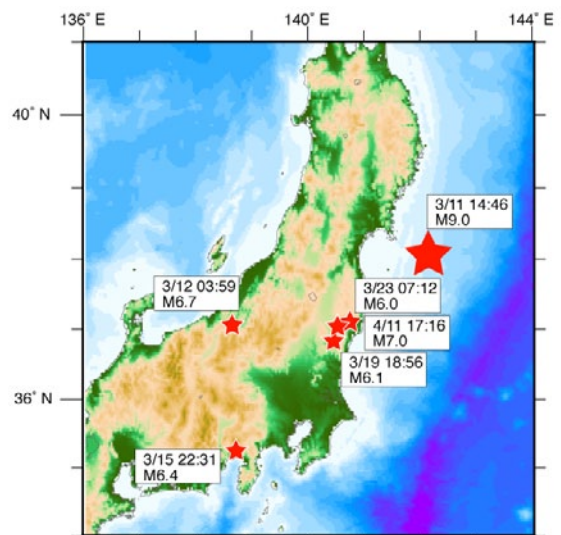


図 1 東北地方太平洋沖地震の震央と主な内陸誘発地震 (M6 以上) の発生状況。



2. 福島県浜通りの地震に伴う地表地震断層

4月11日17時16分頃に福島県いわき市田人町付近の地下6kmを震源としてM7.0の地震が発生しました。この地震に伴って井戸沢断層と湯ノ岳断層という既知の2つの活断層付近で地表地震断層が出現しました。活断層・地震研究センターでは、福島県浜通りの地震で生じた地表地震断層について緊急調査を継続的に実施し、断層の出現位置や変位量の分布などの特徴を明らかにしました。



図2 2011年4月11日の福島県浜通りの地震に伴って出現した地表地震断層の分布。灰色の線は既存の活断層図（活断層研究会編，1991；中田・今泉編，2002）に示されている活断層。震源メカニズム解とその位置は、気象庁が公表している発震機構のCMT解に基づく。

2.1 井戸沢断層に沿う地表地震断層の変位計測

活断層として認定されていた井戸沢断層（活断層研究会編，1991）のうち、西側の断層線に沿って地表地震断層が出現したことが、東京大学地震研究所を中心とする調査グループによって最初に報告されました（石山ほか，2011a）。また、その北方延長にあたる御斎所川（鮫川）以北における地表地震断層の出現位置とその状況について、黒澤ほか（2011）によって報告されました。地表地震断層の一般走向は約N20°Wで、いわき市綱木北西から同市田人町大久保の南方にかけて約13kmにわたり連続的に出現しました。このうち田人町黒田地区以北では、従来の活断層図（活断層研究会編，1991；中田・今泉編，2002）には活断層の存在が示されていないところに地表地震断層が現れており、石

山ほか（2011b）はこれを「塩ノ平断層」と仮称しています。断層によって地表がずれたことにより、山地では断層沿いの木々が傾き、川では断層の下流側が相対的に上昇してせき止めが起きました。また、道路は突如「壁」が現れたかのように寸断され、断層直上に位置していた人家は基礎から破壊されてしまいました。断層面は70-80°の傾斜で西に傾き、相対的に西側が低下する正断層です。SAR干渉画像をみると断層の西側に地殻変動を示す干渉縞が多く現れており、断層の低下側（上盤側）が実際に変動したことが推定されます。

当センターでは、断層沿いの変位量分布、すべり方向、断層変位形態の解明に焦点を当てた緊急調査を実施しました。活断層・地震研究センターの丸山、吉見、林田、谷口、吾妻と地質調査情報センターの斎藤英二氏が、この測量作業に参加しました。

変位量分布については、トータルステーションを用いた詳細測量（写真1）と巻尺やクリノメータを使った簡易測量を調査地点に応じて行ないました。トータルステーションを用いての計測は変位の指標となるものが途中で回転したり無くなったりして元々の位置の復元が必要な場合や、変位量が大きく見通しが利かない断層崖での横ずれ量を計測する場合、あるいは水田など広域な場所で面的に捉える際に有効な方法です。現地では、大久保地区（2地点）、台地区、赤仁田地区西方、塩ノ平地区南方（2地点）、綱木地区の合計10地点で詳細測量を実施しました。鉛直変位量は地表地震断層の中央付近にあたる赤仁田地区西方から塩ノ平地区にかけての区間で大きく、最大2.2mに達します（図3）。横ずれ変位については、左横ずれと右横ずれが観察され、変位量は最大で0.5mです。また、正断層運動に伴い、最大で0.4mの水平伸張が測定されています。

すべり方向については、元々同じ地点にあった地点（ピアシング・ポイント）が移動した方向を詳細測量結果あるいは簡易測量によって求めました。また、断層面に残された断層条線の向きから算出した結果も参照しています。今回の地表地震断層は塩ノ平地区での明瞭なステップを境界として北トレースと南トレースに分けた場合、それぞれのトレースの端部で横ずれ成分が大きくなる傾向があります。これは変位量が大きいトレース中央部にすべり方向が向かうためと考えられます。

地表地震断層の断面形状に注目すると、変位量が大きく地表付近に未固結の堆積物を伴う地点では、むき出しとなった断層面（free face）が現れている上部と上盤側での撓み（flexure）が現れている下部があることに気づきます。地表付近に堆積物がない

尾根の上などでは、むき出しになった断層面のみが観察されます。変位量が小さい場合には、開口亀裂だけが目立ちます。断層変位が横ずれ成分を伴う場合には、開口亀裂は小規模なステップ（雁行構造）をして連なっています。例えば、大久保地区北方では、右横ずれを反映した左ステップの雁行構造が観察されます（写真2）。一方で、地図上に表現できる規模（幅が数十m以上）のステップ構造に関しては、横ずれの方向とは関係なく幅約30mの右ステップが、大久保地区北方で観察されています。



写真2 大久保地区西方で観察された左ステップ雁行構造。

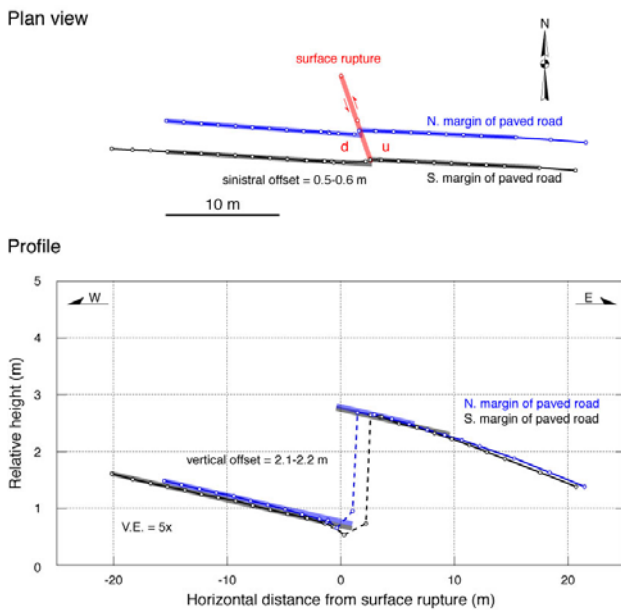


図3 測量結果の例（いわき市田人町塩ノ平地区南方）。



写真1 トータルステーションを用いた測量風景。

2.2 井戸沢断層に沿う地表地震断層の断層条線計測調査

井戸沢断層に沿って現れた地表地震断層では、変位量が大きかったこともあり、多くの地点で断層面を観察できました。基盤岩を切る断層面は表面が粘土状で、断層がずれたときの引っ掻き傷（「断層条線」と呼びます）が残っています。地表に露出した断層面は乾燥すると表面から剥がれ落ちてしまうので、断層条線を観察するためには地震発生後できるだけ速やかに調査を行う必要があります。活断層・地震研究センターの重松、高橋、今西、安藤、谷口、吾妻と地質情報研究部門の大坪誠氏がこの調査に参加しました。現地で踏査を重ねた結果、約30地点で断層条線を計測することができました。

断層条線によって、地震時の最終的な変位だけでなく、変位の途中経過を明らかにすることができます。今回の調査では、赤仁田地区西方から綱木地区にかけて左斜めずれを示す南へ沈み込んだ断層条線と、右斜めずれを示す北に沈下した断層条線が観察されました。とくに赤仁田地区西方から塩ノ平地区にかけての区間では、両者が連続した「逆くの字」の軌跡を描く断層条線が確認されました（写真3、図4）。このことは、地震時の断層運動が、最初左斜めずれをし、その後に右斜めずれをしたことを意味します。このような観察結果を、波形インバージョンから求められる時刻歴すべり量分布と比較することができるかと非常に興味深いと思うのですが、今回の地震では井戸沢断層と湯ノ岳断層の2つの断層面ですべりが生じていることから、波形を分解してそれぞれの断層面に分配して割り当てることは難しいのではないかと思います。

また断層面上には、今回の地震による断層条線により、一部がかき消された過去の断層条線が観察できることがあります。これらの中にはほぼ水平な方向にすべる横ずれ運動もありました。これらの過去

の断層活動がどのくらい以前に発生したのかについては現時点では不明ですが、今回活動した断層の過去の活動様式を推定する上で貴重な情報です。



写真3 「逆くの字」の軌跡を描く断層条線。

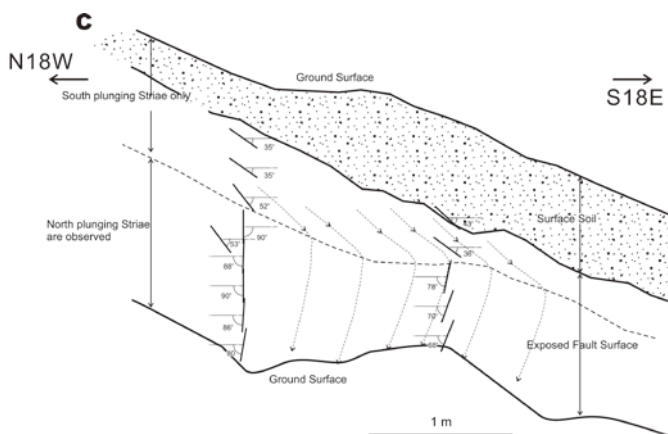


図4 地表地震断層が出現する途中ですべり方向が変化したことを示す条線のスケッチ (御齋所山南西)。

2.3 湯ノ岳断層に沿う地表地震断層の変位計測

湯ノ岳断層は、湯ノ岳 (標高 596m) の南縁に位置する西北西-東南東走向で南側が低下する正断層で、湯ノ岳の花崗岩と丘陵の堆積岩との境界をなす地質断層ともほぼ一致します。この断層の一部にあたる長さが 6km の区間は活断層とされていました (活断層研究会編, 1991)。この湯ノ岳断層に沿って現れた地表地震断層については、独立行政法人土木研究所の調査グループによりその出現と分布が報告されました (阿南ほか, 2011)。

当センターでは、この地表地震断層の変位量とすべり方向の解明を目的とし、栗田、楮原、杉山、吉岡、吾妻、安藤、丸山が現地調査を行ないました (写真4)。地表地震断層は、いわき市遠野町入遠野白鳥付近から同市常磐白鳥町礼堂付近にかけて長さ約 16km にわたって出現しました。このうちの南東部の約 6km は、これまで活断層の存在が知られてい

ない区間に地表地震断層が現れました。現地の方々から伺った話に基づく、井戸沢断層と同じく、4月11日17時過ぎの地震 (本震) で地表地震断層が生じたと考えられます。

地表地震断層の一般走向は約 N60°W で、左横ずれ成分を含む南西落ちの正断層です。地表地震断層の南東部には顕著なギャップがあり、このギャップの両端付近から東北東へ向かって副断層が 1km 程度延びています。主断層に沿った変位量は、中央部では 50-75 cm と概ね均一であり、北西端では徐々に、南東端では急に変位量が減少しています。上盤の水平すべりの方向は S15°W 程度でほぼ揃っていますが、南東端では S30°E 程度になり、左横ずれ成分が大きくなります (図5)。



写真4 湯ノ岳断層における地表地震断層の測量作業 (いわき市常磐藤原町小幡地区)。

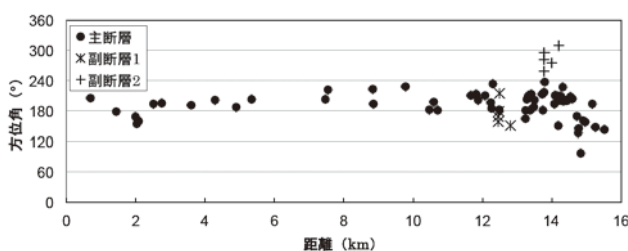


図5 変位ベクトル分布図 (距離は0が北西端)。

2.4 井戸沢断層と湯ノ岳断層の関係

現地の方々からの聞き取りにより、井戸沢断層と湯ノ岳断層ではどちらも 17時過ぎの地震で地表地震断層が現れたことが確認されていますので、地震時にほぼ同時に活動したとみられます。さらに詳しく地震波形の記録をみると、2回ないし3回にわたって大きな地震波が発生しているため、数秒の間隔でいくつかの断層が動いた可能性があります。

今回活動した活断層はいずれも正断層ですが、井戸沢断層は御斎所変成帯内部の南北走向の地質構造に沿った断層であるのに対し、湯ノ岳断層は花崗岩と堆積岩を区切る構造であり、両断層の一般走向は約40°異なります。また、両地表地震断層の長さはそれほど変わらないのですが、最大変位量に関しては井戸沢断層の方が3倍大きいといった差があります。このように異なる特徴を持つ地表地震断層が一つの地震で同時に出現したメカニズムについて、今後検討していく必要があります。

3. 茨城県北部の地震の緊急調査

3月18日18時56分頃に、茨城県北部でM6.1の地震が発生しました。気象庁のCMT解によると、北西-南東走向の正断層で発生した地震とされています。震央は茨城県高萩市北西の山地内で、付近には活断層の存在は知られていません。もっとも近接する活断層は、南北走向の関コ-黒磯リニアメントと北東-南西走向の関コ-米平リニアメント（活断層研究会編，1991）ですが、震央から5km以上離れています。JAXAが公表したSAR干渉画像には、震央付近で地殻変動が生じた様子が変位量は小さいながらも明瞭に現れています。当センターでは4月4日に栗田、吾妻が地質情報研究部門の高橋浩氏とともに、地表地震断層の有無を確認するために現地へ向かいました。

現地では、SAR干渉の結果を参照し、変位が幅狭い範囲に集中している地域を中心に踏査を実施しました（図6）。踏査した範囲では地表の亀裂や転石が周辺の地域よりも多くみられましたが、亀裂はいずれも谷壁に沿って生じる重力性の開口亀裂と判断されるもので、地表地震断層と認められるものではありませんでした。小山ダムの周囲の舗装道路では、地山と盛土との境界における不等沈下による路面のずれが多くみられました（写真5）。下君田の集落では屋根瓦の損傷や水田の法面の損傷がみられ、集落の中心にある松岩寺の門前にあった石碑が倒れて損壊していました（写真6）。持山の集落では、3月11日の地震との揺れを比較すると、3月23日の地震による揺れの方がはるかに強かったことや、市が海岸部における被害に対応に追われてこの地区まで手が回っていないことなどの状況を住人の方から伺いました。

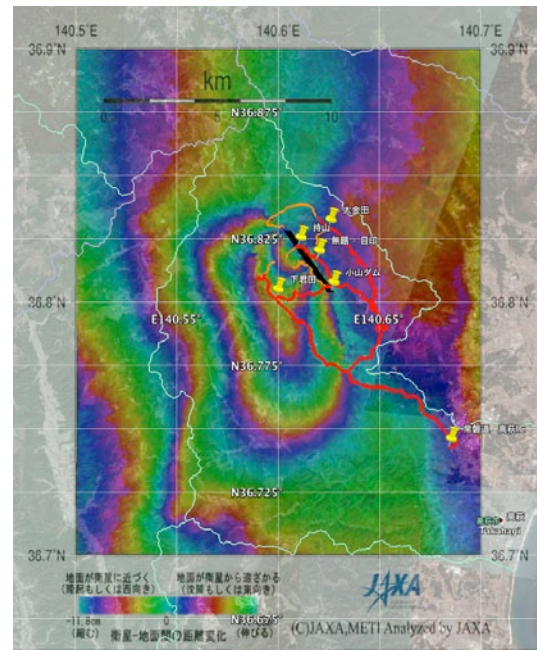


図6 InSARと調査範囲の重ね合わせ。



写真5 道路を横切る地表の亀裂（高萩市小山ダム付近）。



写真6 転倒して割れた松岩寺の石塔。

4. 長野県・新潟県県境付近の地震の緊急調査

この地震は、東北地方太平洋沖地震発生の翌日に発生した M6.7 の地震です。震央は長野県栄村北方の山地内に位置しており、震源の CMT 解および余震の分布に基づき、北北東-南南西走向で東傾斜の断層面が想定されています（防災科学技術研究所, 2011）。ちょうど1ヵ月後の4月12日には、3月の震央から約10km南の地域で M5.6 の地震が発生し、その周辺でも活発な余震活動が続いています。これらの地震が発生した地域は、1847年善光寺地震 (M7.4) と2004年新潟県中越地震 (M6.8) の震源域に挟まれた地震の空白域（サイスマック・ギャップ）に当たります。

この地震による地表変状については、地震の発生直後から地すべりによる被害の情報が流れ、また名古屋大学を中心とする調査グループにより、地表地震断層の可能性のある地表変状が報告されました（松多ほか, 2011）。当センターでは、積雪の多い地域であることから地震発生直後の調査実施は見合わせ、5月11日から5月12日にかけて吾妻・丸山・谷口・吉見が現地調査を実施しました。生憎の悪天候に見舞われ、記録を取るのもままならない状況でしたが、被災地周辺の主立った地域について地表変状の様子を観察することができました。

この地域は、信濃川（千曲川）の向きが東西方向に変化する区間にあたり、既存の活断層図においては東西に近い走向の活断層（宮野原断層、青倉断層、平滝断層など；活断層研究会編, 1991）の分布が示されています。いずれも長さが3-5kmと短く、単独で中規模地震を発生させるとは考えにくい活断層です。地震発生直後に現地調査を実施した名古屋大学を中心としたグループの報告では、池田ほか編（2002）が示す宮野原断層付近で舗装道路上に圧縮性の亀裂が見つかったことが示されていました（松多ほか, 2011）。今回の調査では、これらの既知の活断層に沿う地域と、SAR 干渉画像により地震前後で地殻変動が生じていることが示されている範囲の縁辺部で調査を行いました。なお、本震の震央は栄村北方の山地内になりますが、野乃海岬や天水山付近などの標高が高いところは残雪のため、近寄ることができませんでした。

今回の地震で被害が大きかったのは、千曲川左岸の河成段丘上に位置する栄村の青倉地区と横倉地区です。両地区では、旧国道に面した民家の多くが倒壊していました。青倉の集落の北側の山地内には青倉断層（活断層研究会編, 1991）が通過しています。また、SAR 干渉画像で地殻変動が生じている範囲の北西縁延長がこの付近にあたります。青倉

断層が通過する地点を何カ所か見て回りましたが、地表地震断層であると断定できるものは見つかりませんでした。ただし、この範囲の地域では周辺と比べて亀裂が多く生じています（写真7）。また、青倉断層の北西端付近にあたる中条川上流では、大規模な地すべりが発生しています。

千曲川右岸では、栄村の野田沢、大久保、野口などの集落周辺で舗装道路や農地などに亀裂が見つかりました（写真8）。しかし、いずれも連続性が悪く、強震動による局地的な不等沈下や側方流動という解釈で説明できるものと現地では判断しました。同じく右岸に位置する宮野原断層では、松多ほか（2011）に示された舗装道路に現れた圧縮性の亀裂を確認しましたが、その延長部では変位は認められませんでした。報告された亀裂については、松多ほか（2011）にも記載されているとおり、断層崖とされる斜面の基部で圧縮性の亀裂が、斜面の上部で開口性の亀裂がそれぞれ認められます。このような特徴から斜面に沿って舗装道路のコンクリートブロックが移動したために生じた亀裂であると判断しました。

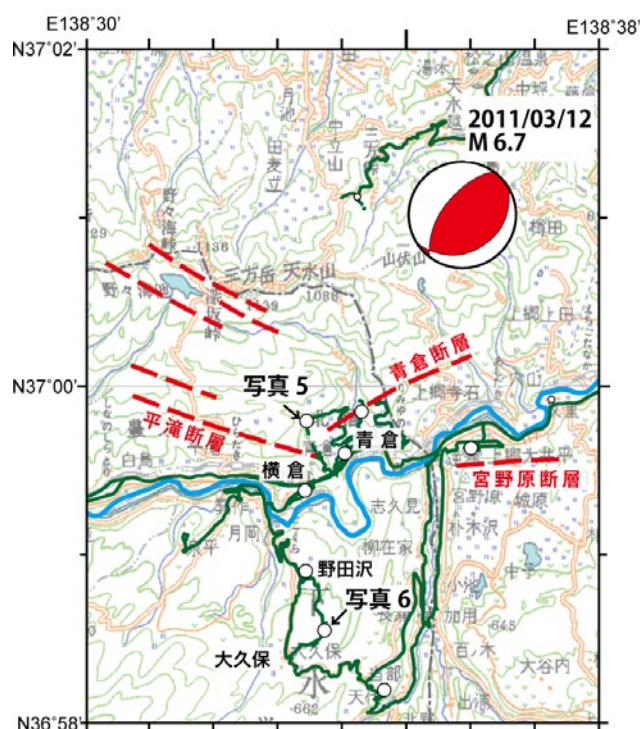


図7 2011年3月12日の長野県・新潟県県境付近の地震の地表変状調査の範囲図。緑線が調査ルート。赤線は活断層研究会編（1991）に示されている活断層。震源メカニズム解とその位置は、気象庁が公表している発震機構の CMT 解に基づく。



写真7 青倉断層通過地点付近の尾根上で観察されたコンクリート道路の損壊（栄村青倉，横倉沢川左岸）。



写真8 栄村大久保地区北東の農地で観察された地表面のずれ。

5. おわりに

4月11日福島県浜通りの地震で井戸沢断層と湯ノ岳断層に沿って生じた地表地震断層は、東北日本では珍しい正断層でした。これらの活断層は、断層変位地形が明瞭でないことから、活動性は高くないと推定されます。そのような活断層が活動し、大きな被害こそ伴わなかったもののM7.0の地震を発生させ、2mを超す地表変位をもたらしたことは、我々活断層研究者が想定していなかったことであり、これまでの活断層に関する評価にさらに新たな検討が必要なことを認識させるものです。

プレート境界で発生する大地震と内陸活断層での地震との相互関係については、一般論としては今までにも指摘されてきましたが、そのメカニズムや物理モデルについてはこれからの研究テーマであるといえます。過去には、1896年明治三陸津波地

震の2ヵ月半後に陸羽地震（M7.2）が発生した例や、1944年昭和南海地震の約1ヵ月後に三河地震（M6.9）が発生した例があります。東北地方太平洋沖地震はそれらの海溝型地震と比べて規模が大きいため、内陸活断層への影響が今後も続くことが懸念されます。

引用文献

- 阿南修司・品川俊介・安元和己・脇坂安彦・江口貴弘（2011）4月11日の余震でいわき市に出現した地表地震断層（第1報）．<http://www.pwri.go.jp/jpn/news/2011/0313/img/yoshin.pdf>
- 栗田泰夫・楮原京子・杉山雄一・吉岡敏和・吾妻 崇・安藤亮輔・丸山 正（2011）2011年4月11日福島県浜通りの地震に伴う湯ノ岳・藤原断層の地表変位ベクトル（速報）．http://unit.aist.go.jp/actfault-eq/Tohoku/report/yunotake_v2.pdf
- 防災科学技術研究所（2011）「2011年3月12日・4月12日長野県北部の地震」<http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/n-nagano110312/>
- 松多信尚・杉戸信彦・廣内大助（2011）2011年3月12日長野県・新潟県県境付近の地震に伴う地表変位（速報）．http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/INFO/tohoku20110311/chihyou_110317.pdf
- 池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志編（2002）第四紀逆断層アトラス．東京大学出版会，254p.
- 石山達也・佐藤比呂志・加藤直子・八木浩司・宮城豊彦・今泉俊文（2011a）2011年4月11日の福島県浜通りの地震に伴う地表地震断層について（第1報）．http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201103_tohoku/fukushimamadoori/#FukushimaNo1
- 石山達也・佐藤比呂志・伊藤谷生／杉戸信彦・越後智雄・加藤直子・今泉俊文（2011b）2011年4月11日の福島県浜通りの地震に伴う地表地震断層について（第2報）．http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201103_tohoku/fukushimamadoori
- 活断層研究会編（1991）新編日本の活断層—分布図と資料—．東京大学出版会，437p
- 黒澤英樹・佐藤ふみ・三輪敦志（2011）井戸沢断層沿い出現した地表地震断層の現地調査報告．http://www.oyoene-db.com/web/topics_h_001.html
- 丸山 正・斎藤英二・吾妻 崇・谷口 薫・吉見雅行・林田拓己（2011）2011年4月11日福島県浜通りの地震に伴い井戸沢断層に沿って出現した地震断層の緊急現地調査報告．<http://unit.aist.go.jp/actfault-eq/Tohoku/report/idosawa/idosawa.pdf>
- 中田 高・今泉俊文編（2002）「活断層詳細デジタルマップ」東京大学出版会，DVD-ROM2枚，60p.



学会・研究会参加報告

2011年地球惑星科学連合大会参加報告

吾妻 崇

2011年5月22日から28日にかけて、千葉市の幕張メッセにおいて2011年地球惑星科学連合大会が開催されました。毎年、規模が拡大する感のあるこの大会ですが、今年はセッション数が全部で174件（そのうち、ユニオンセッションが9件、パブリックセッションが4件）でした。地震および活断層に関連したセッションは25件あり、当センターから8セッション、のべ10名がコンピーナーを努めました。また、2011年東北地方太平洋沖地震に関する緊急セッション（ポスター発表のみ）が2日間にわたり開設されました。

今年はメッセ側の部屋を使用せずに発表会場が国際会議場に集約されていたため、移動による時間のロスもなくて良かったように思います。会議室数を減らしたこともあり、今年度は1コマの時間がこれまでの1時間半から2時間に変更されました。プログラムを最初に見たときには「少し長いかな」と懸念しましたが、実際にやってみるとそれほど長くは感じず、むしろ集中して発表を聴くことができました。

また、これにより口頭発表の時間が伸びたため、ポスター発表のコアタイムがこれまでの夕方（口頭発表終了後）から口頭発表と同じ時間枠へと変更になりました。これについては、賛否両論があるかと思いますが、コアタイム以外にもポスターを見たり、たまたまその場にいた発表者に説明をして頂いたりすることもできたので、それほど悪い組み合わせではないと私自身は感じました。

外部委員会等 活動報告 (2011年4月末～5月)

2011年4月25日

地震防災対策強化地域判定会委員（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。

2011年4月28日

地震調査研究推進本部 強震動評価部会（栗田出席 / 東京）

長周期地震動評価、および今後の強震動予測手法について審議した。

2011年5月11日

地震調査委員会（岡村出席 / 文科省）

2011年5月31日

地震防災対策強化地域判定会委員（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。