

Contents

- 新人紹介
「2004年インド洋津波堆積物の研究」松本 弾 … 1
- 「2011年東北地方太平洋沖地震はどのようにして始まったのか？」内出崇彦 … 3
- 第2回 G-EVER 国際シンポジウム、第1回 IUGS・日本学術会議国際ワークショップ開催報告 … 7
- 外部委員会活動報告
2013年10月 … 8



新人紹介

2004年インド洋津波堆積物の研究

松本 弾 (海溝型地震履歴研究チーム)

今年4月1日より、活断層・地震研究センター 海溝型地震履歴研究チームに任期付研究員として配属されました、松本弾と申します。私の専門は堆積学で、修士課程までは和歌山県の中新統田辺層群の形成過程について研究を行っておりました。田辺層群の浅海成堆積物から津波によって形成されたと考えられる砂層を見出したことから、イベント堆積物としての“津波堆積物”に興味を持つことになりました。その後の2004年にインド洋津波が発生し、スリランカとタイに緊急調査を行うために赴くことになり、現世の津波堆積物に関する研究が博士論文研究のテーマになりました。この時の調査の成果は Matsumoto *et al.* (2008, 2010) に取りまとめており、以下にその概要を説明させていただきます。

スリランカでは、東海岸のラグーン(潟湖)に形成された津波堆積物を対象に調査を行いました。この地域では最大で浸水深6mの津波が砂丘を越えてラグーンに浸入し、ラグーンの対岸まで到達していました。しかし湖底からコア試料を採取すると、津波の遡上範囲に比べて堆積物の分布が極めて狭いという特徴が明らかになりました(図1)。さらに津波堆積物にみられる内陸に向かって細粒化・薄層化する特徴(図2)からは、津波の流れが徐々に減衰していく過程を読み取ることができます。これらの結果から、湖沼環境における現世津波堆積物の分布や堆積学的な特徴を初めて実証的に示すことができました。

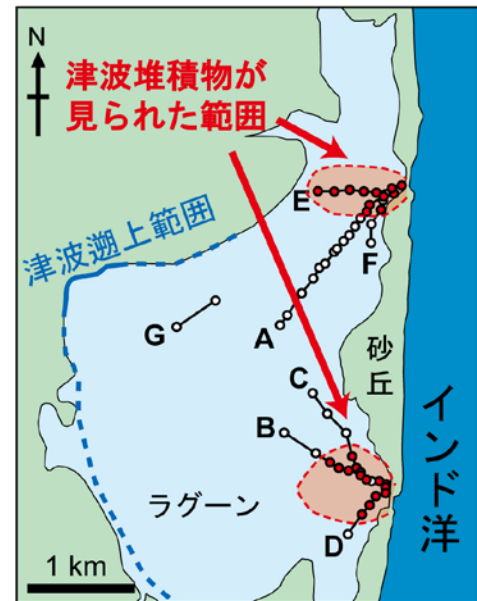


図1. スリランカ東海岸のラグーンにおける津波堆積物の分布図。津波は砂丘を越えてラグーンの対岸まで到達した(青線)が、津波堆積物は2箇所湖口付近にのみ分布していた。Matsumoto *et al.* (2010) を改変。



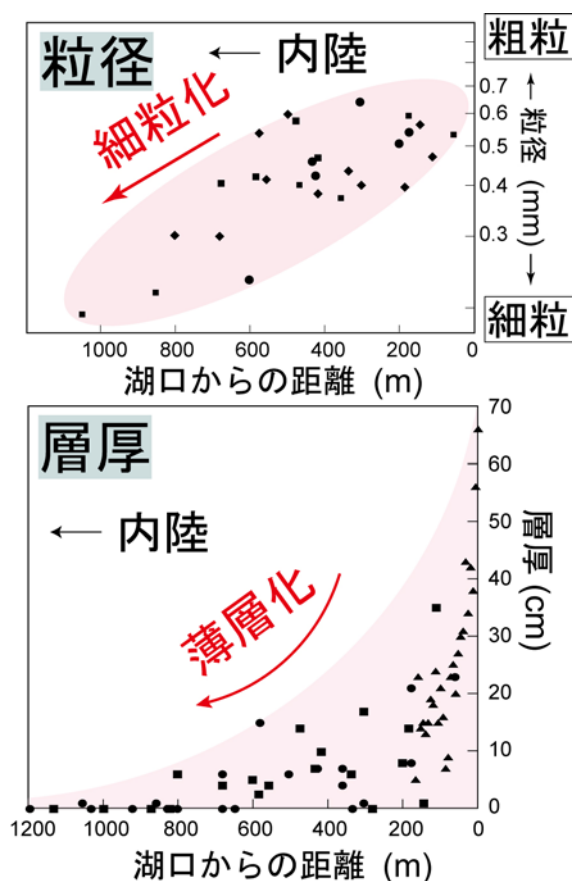


図2 ラグーン湖底に形成された津波堆積物の粒径・層厚の側方変化。湖口から内陸に向かって細粒化・薄層化する傾向がみられる。Matsumoto *et al.* (2010) を改変。

タイでは、海岸低地に形成された津波堆積物を対象に調査を行いました。この地域では最大で浸水深5mの津波が2回襲来したことが目撃情報などから分かりました。海岸低地を掘削調査すると、2回の遡上イベントに対応した2枚の級化ユニットを持つ津波堆積物が見つかりました(図3)。また、下位ユニットの上部の厚い泥層が境界面付近で火炎状に変形している特徴がみられました。このような観察から、1回目の遡上イベントの後には長く水が停滞していた時間があり、その後2回目の遡上イベントによる強い流れによって泥層が火炎状に変形したという過程を復元しました。なお調査地に近い験潮場の記録をみると、1回目と2回目の遡上イベントの間には実際に40分程度の時間間隙があったようです。

以上、2つの研究事例を簡単に紹介させていただきました。これらの調査を行ったラグーンや海岸低地はいずれも津波堆積物が地層中に保存されやすく、古津波堆積物の調査対象になりやすい環境です。したがってこれらの研究結果は、地層中から古津波堆積物を見出す際の貴重な情報になり、また古津波堆積物から過去の津波の流速や遡上回数といった津波の挙動に関わる情報を読み取れる可能性があることを示しています。今後はこれらの研究で得られた知見や経験を古津波堆積物研究に活かし、過去の津波の履歴や規模をより正確に解明する



図3 タイの海岸低地でみられた津波堆積物。厚さ30-50cm程度の津波堆積物の中に2つの級化ユニットがあり、その境界が火炎状に変形している様子がみられる。Matsumoto *et al.* (2008) を改変。

ことを目指していきたいと思います。また産総研でのポストドク時代では海洋調査の研究を行っていましたが、その経験を活かしてこれまで古津波堆積物調査が十分に行われていなかった海域での調査にも取り組んで参りたいと思います。防災・減災に少しでも役立てるような情報を社会に速やかに発信できるように努めて参りますが、知識不足・経験不足を補うためにみなさまにご指導を賜りたく、なにとぞよろしくお願い申し上げます。

参考文献

- D. Matsumoto, H. Naruse, S. Fujino, A. Surphawajruksakul, T. Jarupongsakul, N. Sakakura and M. Murayama (2008) Truncated flame structures within a deposit of the Indian Ocean Tsunami: evidence of syn-sedimentary deformation. *Sedimentology*, 55, 1559-1570.
- D. Matsumoto, T. Shimamoto, T. Hirose, J. Gunatilake, A. Wickramasooriya, J. Delile, S. Young, C. Rathnayake, J. Ranasooriya and M. Murayama (2010) Thickness and grain-size distribution of the 2004 Indian Ocean tsunami deposits in Periya Kalapuwa Lagoon, eastern Sri Lanka. *Sedimentary Geology*, 230, 95-104.

2011年東北地方太平洋沖地震はどのようにして始まったのか？

内出崇彦（地震発生機構研究チーム）

1. 初めに

今年2013年4月に赴任いたしました内出です。茨城県出身で、東京大学で博士号を取得しました。その後、米国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（この時代に実はこのセンターニュースに名前だけ登場しています[1]）、京都大学防災研究所でポストドク研究員として研究を進めておりました。このたび地元で心機一転、新たな研究に取り組んでいるところです。どうぞよろしくお願いいたします。

今回、ニュースレターに執筆する機会をいただきましたので、最近の研究テーマである、2011年東北地方太平洋沖地震の始まり方についてお話ししたいと思います。

2. 巨大な断層はいかにして壊れるか

2011年東北地方太平洋沖地震は、長さ400km、幅200kmに及ぶ巨大な断層が破断・破壊してずれ動いたものでした。どのようにしてこのような巨大な断層が破壊するのでしょうか。断層が事前に示し合わせて、全体が同時に破壊するということは考えにくいでしょう。実際は、初めにごく小さい部分が

ゆっくりすべります。すべる範囲も少しずつ広がります。それがある程度の大きさまで成長すると、どんどん勢いがついて、断層を順々に破壊していくわけです。大きな地震波を出す、すなわち私たちが地震として体感するのは、この勢いがついた後のことです。破壊する範囲は3km/s程度の高速度で拡大していきます。

ところで、地震というのは巨大地震だけではありません。さまざまな規模のものがあります。日本周辺で発生する地震は、気象庁が検出して公表しているだけでも、年間10万個以上を優に超えています。その9割以上がマグニチュード(M)3未満の小さな地震です。巨大地震は警戒すべき自然現象ですが、頻度は小さい地震に比べると低いものです。断層の破壊が成長していく中で、どういったことが巨大地震で特徴的なのか、あるいはどういった点はより小さい地震と似ているのかということを知ることは、地震の発生を理解する上で非常に重要です。

3. 断層破壊の進展を追う

断層破壊の広がり様子は、地震計の記録を使って推定することができます。断層面上の場所ごとに断層のずれの速度を時々刻々推定する、断層すべり

インバージョン解析法は、有用な解析法として知られています。私はこれに独自の改良を加えて、「マルチスケール断層すべりインバージョン解析法」という手法を開発して、破壊過程の始まりの部分の解像度を上げることに成功しました [2].

この手法は特に、規模の異なる地震同士の類似点や相違点を研究する、地震のスケール研究で威力を発揮します。通常の解析ですと、大きい地震はより粗く、小さい地震はより細かく解析することになってしまうため、同じスケールで比較することは困難です。しかし、マルチスケール断層すべりインバージョン解析法によって、規模の異なる地震同士の断層破壊の成長の様子を同じスケールで比較できるようになりました。この手法を用いて、2004年米国パークフィールド地震 (M6.0) の解析を行い [3], その破壊の進展の度合いが、より小さい地震のものに似ているということを示すことができました [4]. ここでは詳細は割愛しますが、ご興味のある方は論文をご参照ください。

4. 2011年東北地方太平洋沖地震のマルチスケール解析

我が国の観測史上最大規模の地震として知られる2011年東北地方太平洋沖地震 (M9.0) は、その始まり方も特徴的でした。本震の発生する2日前から、M7.3の地震を筆頭に、前震活動と「ゆっくりすべり」が発生していました [5-7]。詳しくはニューズレター No. 40 の記事 [8] をご参照ください。

また、観測された本震の地震波形の初めの部分が弱いのではないかという指摘があります。本震の初めの4秒間程度の地震波形は、M5程度の単独の地震の波形と同程度の振幅でしかありませんでした (図1)。断層の破壊に1秒間程度しかかかっていないと考えられるM5の地震の波形と、より長い時間地震波を放射し続けているはずのM9の地震の波形の振幅が、4秒間にもわたって同程度であるというのは意外なことです。

そこで、この地震の破壊の始まりを調べるために、マルチスケール断層すべりインバージョン解析を実施しました [9]。解析では震源過程を大中小の3つのスケールに分けて、図2のように断層モデルを事前に設定し、その上での断層すべりの履歴を、観測された地震波形を再現できるように求めました。今回の地震は、沈みこむ太平洋プレートと大陸プレートである北米プレートとの境界で発生した

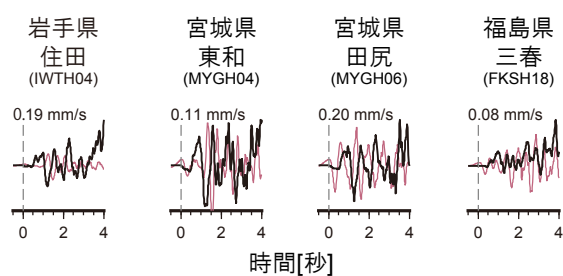


図1 (独) 防災科学技術研究所の強震基盤観測網 (KiK-net) で記録された、2011年東北地方太平洋沖地震 (黒) と2005年12月5日5:20に発生したM5.2の地震の波形 (赤)。これらは上下動の速度を表しており、原記録である加速度記録を時間積分することで得た。各波形の最大振幅が波形の上にかかれている。

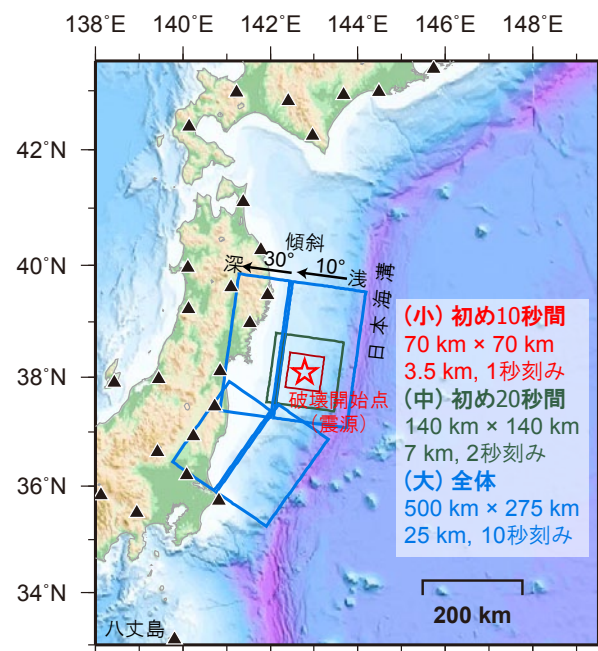


図2 2011年東北地方太平洋沖地震のマルチスケール断層すべりインバージョン解析の際に設定した断層モデル。赤、緑、青の四角形がそれぞれ小、中、大の3つのスケールの断層モデルの大きさを示す。便宜上、平面図の上に描いてあるが、実際は傾斜のある平面であることに注意されたい。三角形で示したのは、大スケールの解析に用いた地震観測点の位置である。

と考えられます。そのため、プレート境界面の形状を単純化して、4枚の平面からなる断層モデルを設定しました。地震波形データは、図2に示した位置にある、(独) 防災科学技術研究所の強震基盤観測網 (KiK-net) のボアホール内の加速度型強震計と広帯域地震観測網 (F-net) の速度型強震計の記録を用いました。

その結果推定された断層すべりの履歴を図3に示します。断層のすべりが局所的に発生していて、様々な方向に伝播している様子がわかります。破壊開始後16秒(図3(b))以降は西側、すなわちより深い方向へと破壊が伝播しています。その後、破壊は踵を返して、東側の日本海溝に向かって伝わっていき、最後には1分間程度かけて(図3(c)),プレート境界浅部を50m以上ずれ動かしています(図3(d))。断層すべり速度が1m/sを超えるような動的な破壊が、伝播方向を変えながら広がっていく様子がよくお分かりいただけるでしょう。地震波形の立ち上がりは遅かったように見えたのですが、実際は局所的に高速の断層すべりが発生していたのです。

破壊過程の初めの4秒間に話を戻します。推定された破壊過程では、初めの1秒間ですべりがあった後、しばらく断層すべりが見られません(図3(a))。私は、M5程度の単独の地震が起こった直後に、本震の一連の破壊が起こったと解釈することもできるのではないかと考えています。このM5程度の単独の地震は「最後の前震」と呼べるかもしれません。ただし、この「最後の前震」仮説を検証するには今回の研究だけでは不十分で、より良質なデータと詳細な解析が必要です。このように、さまざまな解釈の可能性を準備しながら、微小な破壊から巨大地震に至るまでの成長過程の包括的な理解を進めているところです。たいへん重要な研究課題ではありますが、まだまだ地道な研究が必要な分野です。

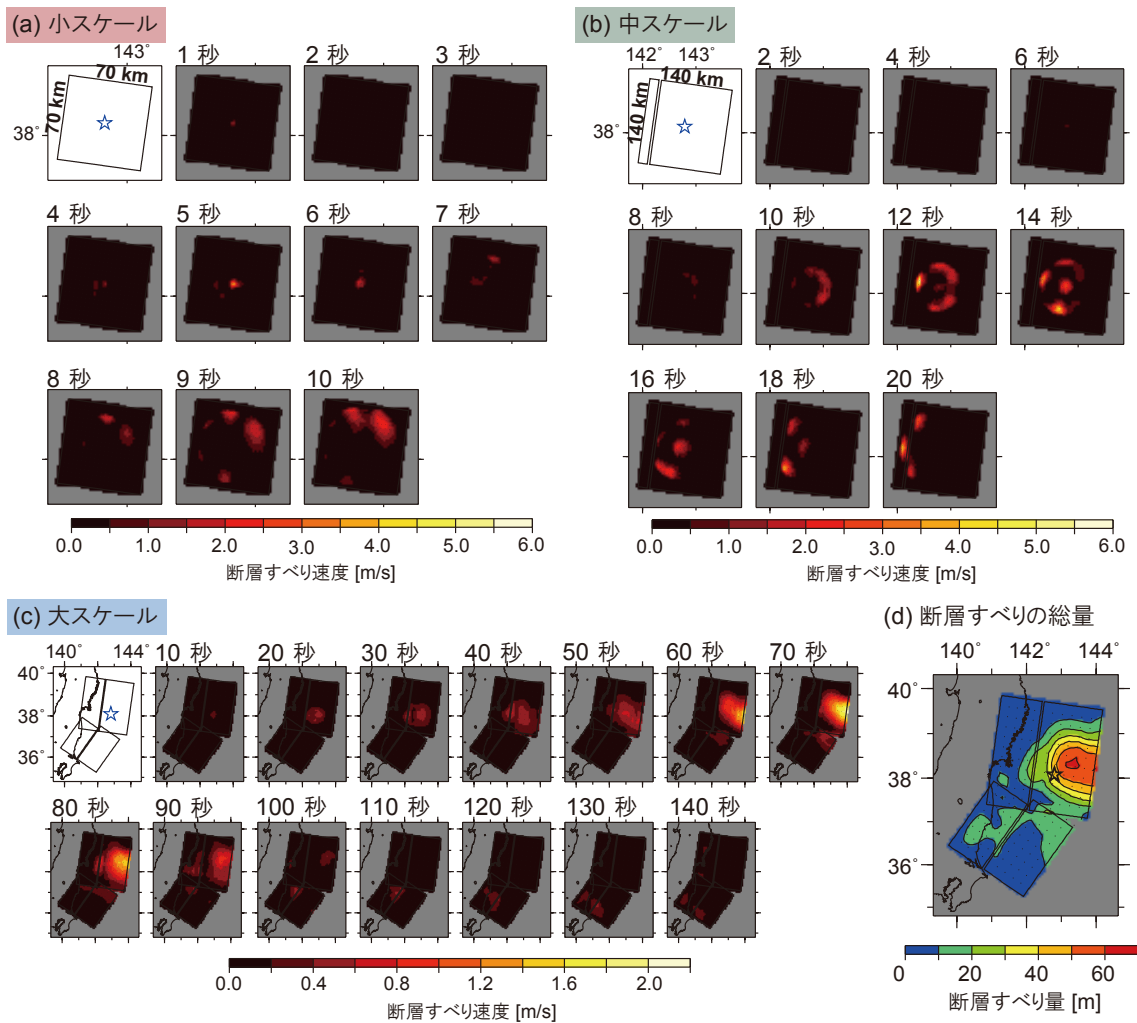


図3 2011年東北地方太平洋沖地震の断層破壊の進展の様子。(a)~(c)各スケールで推定された断層すべり速度の履歴。それぞれ空間スケールが大きく異なることに注意されたい。色は断層すべり速度を示す。(d)破壊過程全体ですべった総量。

5. 今後の展望

今回ご紹介した研究を含む、世界中の研究者による取り組みによって、今回の巨大地震でどのようなことが震源で起こったのか、明らかになってきました。次は、このような巨大な地震がどのような背景に基づいて発生したのかということを理解する必要があります。地震が発生するためには、事前に断層に歪エネルギーが蓄積している必要がありますが、それがほかの地震で解放されることなく、長い時間をかけてどのように行われたのでしょうか。そのような巨大地震を起こす可能性のある場所の特徴を理解することで、事前に調べ上げることができないでしょうか。様々な仮説と取り組みが考えられますが、はっきりとした方向性はまだありません。そこで、海外の事例も含めた観測・観察研究や、岩石力学や摩擦などの基礎研究に裏打ちされたシミュレーション研究といった努力が必要です。

私はこのたびご縁があって、活断層・地震研究センターに加入いたしました。私が得意とするのは地震学的アプローチですが、これに加えて、津波堆積物や活断層の調査等で得られた地質学的な情報を生かして、地震研究を推進していきたいと考えています。

謝辞 ここにご紹介した研究は、(独)防災科学技術研究所のHi-net, F-net, KiK-netの地震波形データを使って行いました。また、図2の陸上及び海底の地形は、アメリカ海洋大気庁(NOAA)のETOPO1のデータによるものです。関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 吉見雅行(2009)活断層・地震研究センターニュース No.7, 4.
- [2] T. Uchide, and S. Ide (2007) J. Geophys. Res. Solid Earth 112, B06313.
- [3] T. Uchide, S. Ide, and G. C. Beroza (2009) Geophys. Res. Lett. 36, L04307.
- [4] T. Uchide, and S. Ide (2010) J. Geophys. Res. 115, B11302.
- [5] R. Ando, and K. Imanishi (2011) Earth Planets Space 63, 767.
- [6] Y. Ohta *et al.* (2012) Geophys. Res. Lett. 39, L16304.
- [7] A. Kato *et al.* (2012) Science 335, 705.
- [8] 安藤亮輔(2012)活断層・地震研究センターニュース No.40, 1.
- [9] T. Uchide (2013) Geophys. Res. Lett. 40, 2993.



第2回 G-EVER 国際シンポジウム 第1回 IUGS・ 日本学術会議国際ワークショップ開催報告：

2nd G-EVER International Symposium and the 1st IUGS & SCJ International Workshop on Natural Hazards

桑原保人（活断層・地震研究センター）



2013年10月19～20日に仙台市において標題の会議が開催されました。会議のタイトルから分かるように、今回のシンポジウム・ワークショップは複数の団体の主催で行なわれました。まず、G-EVERは「Asia-Pacific Region Global Earthquake and Volcanic Eruption Risk Management」の略称で、英語の通り、アジア・太平洋地域における大規模な地震・火山噴火とそれらのリスクマネージメントについての研究を発展させるための活動を行う組織です。これには、産総研地質調査総合センターが中核組織として、活断層・地震研究センターの職員も多数運営にあたり、当センターニュースNo.42、2013年3月号でも紹介されています。IUGSはInternational Union of Geological Sciences（和名：国際地質科学連合）の略称で、4年に一度万国地質学会（International Geological Congress: IGC）を開催している、地質学を主体とする国際的な団体です。ここからは、IUGSの会長・副会長・事務局長など

世界の地質学を代表されるような方の参加も頂き、災害軽減に向け、今後IUGSとしても地質学の貢献にイニシアチブを取っていくとの意思表示もなされました。また、日本学術会議の地球惑星科学委員会にはIUGS分科会があり、ここからも多数の講演を頂いております。会議では自然災害軽減のための包括的な話題から、地震、津波、火山、地すべり、2011年東北沖地震の教訓などについて熱心な議論が行なわれました。会議の規模としては、招待講演33名、ポスター発表24名があり、参加者は日本を含め12カ国・地域から92名（外国人24名）でした。今後、今回の会議のまとめとして、災害軽減のために地質学が果たすべき役割やG-EVERの果たすべき役割について、Sendai agreementを宣言する予定です。なお、会議の情報は<http://g-ever.org/en/symposium/symposium2.html>にあり、この中でアブストラクトをダウンロードできるようになっています。

外部委員会等 活動報告 (2013年10月)

2013年10月2日

原子力発電所の新規制基準適合性に関わる審査会 (岡村出席 / 原子力規制委員会)
小浜湾とその周辺の活断層について

2013年10月4日

地震調査研究推進本部地震調査委員会第195回長期評価部会 (吉岡出席 / 東京)

2013年10月10日

地震調査研究推進本部地震調査委員会 (岡村出席 / 文部科学省)
9月の地震活動評価ほか

2013年10月18日

首都直下地震モデル検討会 (岡村出席 / 内閣府)
首都直下地震の震源モデルについて

2013年10月21日

地震防災対策強化地域判定会 (松本出席 / 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。

2013年10月22日

地震調査研究推進本部地震調査委員会第50回地震動予測地図高度化ワーキンググループ (吉岡出席 / 東京)

2013年10月25日

地震調査研究推進本部地震調査委員会第196回長期評価部会 (吉岡出席 / 東京)

2013年10月28日

地震調査研究推進本部調査観測計画部会 (岡村出席 / 文部科学省)
各機関の調査観測計画について