

## Contents

- 地質調査総合センター第18回シンポジウム「地質学で読み解く巨大地震と将来の予測—どこまでわかったか—」開催報告 … 1
- 内陸巨大地震を予測するための地震発生物理モデル … 2
- 2011年 American Geophysical Union of the Fall Meeting 参加報告 … 6
- 外部委員会活動報告 2011年12月 … 8



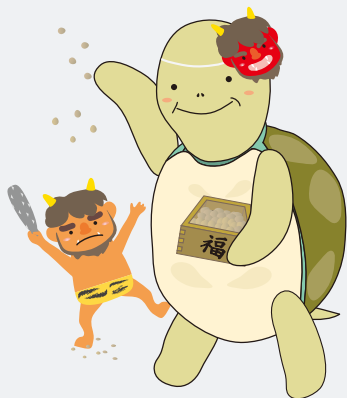
## 地質調査総合センター第18回シンポジウム 「地質学で読み解く巨大地震と将来の予測—どこまでわかったか—」開催報告

行谷佑一（海溝型地震履歴研究チーム）

2012年1月12日（木）に、秋葉原ダイビルコンベンションホールにて地質調査総合センター第18回シンポジウム「地質学で読み解く巨大地震と将来の予測—どこまでわかったか—」が開催された。産総研活断層・地震研究センターの7名による講演のほか、21件のポスター発表も行われた。地質・建築・電力関連企業の方を中心に、約230名の方々に出席戴き、会場内はほぼ満席状態になった（写真1）。

講演の前半では、岡村研究センター長、当センター海溝型地震履歴研究チームの澤井主任研究員、および宍倉研究チーム長による講演が行われた。岡村からは、研究成果を社会に迅速に報告することは重要であるが、一方でマスコミを通じて報告されている最近の津波堆積物の調査結果は玉石混淆であり、吟味して信頼性の高いデータを報告することが最重要である、という話があった。澤井ならびに宍倉からは、産総研が2011年東北太平洋沖地震以前から行っていた西暦869年貞観地震津波の研究紹介や、現在太平洋沿岸で進めている津波堆積物調査の話、およびどのようにして津波堆積物と認定するかなどの手法の話があった。

ところで、当センターは5年の時限付き研究センターであり今年度は3年目にあたる。本シンポジウムは当センターの研究成果の中間報告を兼ねており、講演の後半では地震地下水研究チームの松本研究チーム長、活断層評価研究チームの近藤研究員、地震発生機構研究チームの長研究員、および地震災害予測研究チームの吉見研究員による講演が行われた。松本からは当センターが展開している地下水水位・歪・傾斜計などの観測データから深部低周波微動や深部ゆっくりすべりを正確に把握し、東海・東南海・南海地震の中期予測技術を開発する研究の説明があった。近藤からは、内陸の活断層帯について複数の断層が同時にずれ動くことによって、単独の活断層が活動した場合の重ね合わせよりも大規模な地震と地表変位が生じることがあることが説明された。長からは内陸巨大地震の発生を予測するための物理モデルの叩き台として、地殻から上部マントル間の3次元粘弾性構造をモデル化し、活断層の深部構造や地殻粘性を始めとする曖昧なパラメータの推定に取り組んでいる旨の説明があった。吉見からは、ダムや鉄道、道路などの重要なインフラが破壊されないことを目的に、現地調査や数値計算の両面からアプローチして、内陸地震の断層運動による地表の変形を予測する研究が紹介された。



聴講者の方には事前に質問票を配布しており、講演内容に関する質問やコメントを書いて戴いた。質問票はその場で回収し集計を行った。そして、多くの方が質問された事項や講演で省いた事項などを選び出し、それを講演の後に設けられた総合討論の場で講演者が回答した。専門的な質問が多かったが、研究成果をできるだけわかりやすい形で早く公開して戴きたい、という声も多く戴いた。冒頭の岡村の話につながるが、研究成果公表の迅速性と信頼性の向上は両立がなかなか難しいと考えられる。最も重要なのは信頼性であるので、それを最優先に迅速に研究成果の公表を行うよう努力して参りたい。



写真1 講演中の様子。岡村の講演「東北地方太平洋沖地震の教訓」より。



## 内陸巨大地震を予測するための地震発生物理モデル

長 郁夫（地震発生機構研究チーム）

### 1. なぜ物理モデルか

大災害を起こす地震には、大別して2011年3月11日の東北沖地震のように海洋プレートと陸側プレートの境界で発生する海溝型地震と1995年兵庫県南部地震のように内陸の活断層で発生する内陸地震とがあります。ここでは内陸地震の発生時期予測（長期予測）の話をしていきます。

現在の内陸地震の発生時期予測では単純な統計を用いています。すなわち文部科学省地震調査研究推進本部の活断層の長期評価では、活断層の活動履歴の調査結果に基づいて平均再来間隔を計算し、最新活動からの経過時間と平均再来間隔とを比較して今後30年間の発生確率を算出しています。ここでは活断層は一定の再来間隔で活動を繰り返すという考えがもとになっています。

この方法の問題は地震の連鎖を評価できないことです。例えば2004年新潟県中越地震の3年後に30kmも離れていないところで中越沖地震が発生しました。中越地震が中越沖地震を引き起こしたかどうかについては議論の余地のあるところですが、少なくとも現在の枠組みでは関連性を考慮したくてもできません。内陸地震は再来間隔が1000年オーダーなので、ただでさえ予測精度が低くなりがちです。そこで活断層間の相互作用を考慮に入れて少しでも精度を向上できないかという考えが生じます。そのためには物理モデルが必要です。

### 2. 物理モデルによる予測のイメージ

活断層の長期評価の精度向上のために、単純な統計による現行の長期評価を気象分野での季節予報や温暖化予測のような物理モデルに基づくシミュレーションに変えていけないものでしょうか。そのためにはまず地殻モデルを作成し、シミュレーション等でモデルの妥当性を検証する必要があります。次に、作成した地殻モデルを用いて計算機の中で現在の地殻の状態を再現し、徐々にテクトニックな負荷を増やして地震を発生させるシミュレーションを実施することになります（図1左）。

#### 2-1. 地殻モデル

私たちは、地震発生予測に用いる地殻モデルの作成と検証はおおざっぱに言って次のような手順でおこなうと考えています。つまり、(i) 地震発生の物理法則（素過程）を解明する、(ii) 具体的な地下構造や地下での力のかかり方のデータを集める、(ii) 法則やデータをコンパイルして統合的な地殻モデルを作成し数値シミュレーション等で検証する、という手順です。

1965年に地震予知計画が開始して以来、実に多くの実験や調査観測がなされてきました。多くの地震研究者が上述のような地殻モデル作成のステップを意識して(i)、(ii)に取り組んできたのではないかと想像します。実際、(i)、(ii)については現

在までに相当多くのことが分かってきています。

しかし残念ながら、地震発生に最も強い影響を及ぼすと考えられる10～20 kmの深さの構造の情報は極端に少ないのが実情です。例えば、地殻には何千年も押し続けると飴のようにぐにゃりと変形する性質（粘性と呼ばれます）がありますが、地震が発生する深さの粘性を直接探査することはできません。また、地表で観察される活断層が地下深部でどのような形状になっているかは想像するしかありません。結果として、物理モデルを用いた内陸地震の予測に関する研究は、(ii) から (iii) にうつるところで足踏みしている状態です。

## 2-2. 問題解決の方法

私たちはこの問題を次の方法で解決したいと考えています。

- ・3次元粘弾性地殻構造モデルを日本列島規模で作成する。これには100以上の主な活断層が含まれる。

- ・モデル化作業の各段階で数値シミュレーションを実施して様々なデータでモデルを検証する。

「え？」と思われるかもしれません。「これは問題解決の方法ではなくて問題が解決したらできることではないか」と言われそうです。探査できない活断層の深部形状をどうやって地殻モデルに組み込むのでしょうか。それも活断層を100以上含む列島規模のモデルというのですから疑問を持たれることと思います。

これに対する私たちの回答は次のようになります。まず日本列島に多数存在する活断層の深部形状を記述する一般的な方法があると仮定して下さい。例えば、すべての活断層の深部延長部は平坦な面として延長すれば良いとか、深さの関数で徐々に傾斜が緩くなるような曲面で表せるとかです。実際は一つ一つ異なるでしょうが、平均像というものはあるでしょうから、それを適当にパラメータ化すると考えて下さい。最初は今ある知識の中で尤もらしいパラメータ値を仮定して与え、とにかくシミュレーションを実施します。その結果を観測可能量と比較することによりパラメータ値やパラメータ化の方法を修正し、またシミュレーションを実施します。直接同定できない量はこのような方法で間接的に最適化するしかありません。複数の活断層に共通するパラメータ化の方法を見つけるためにはサンプル数が多いにこしたことはありません。地殻モデルを日本列島規模で作成するのはこのためです。

実際は活断層の深部延長の形状だけではなく、地殻粘性構造等もかなり曖昧です。地殻モデルの精度は予測精度に影響しますので、なるべく現実に近い

ものを与えたいところです。作成した地殻モデルを基礎として様々な観測量を再現できることをもってその検証としたいと考えます。曖昧なファクターが多いですので、石橋を叩くようにモデル化の各段階でシミュレーション等を実施して検証を重ねる必要があります。

## 2-3. 予測シミュレーション

まず、過去の活断層の活動履歴を再現するように初期条件や境界条件あるいは地殻モデル自体を調整しながら地震を発生させるシミュレーションを行います。現在の地殻の状態を再現するのが狙いです。過去から現在に至る地震発生のシナリオ通りに計算機の中で時間が進められれば最後は現在の地殻の状態が再現されているはずで。

地震データの解析により地下深部で現在どのような力がかかっているかを直接調べる方法もあるのですが、残念ながらこれらの方法では部分的な情報しか得られません。またそもそも地震が起こらなければ情報が得られません。地殻の状態を十分詳しく把握するためにはシミュレーション技術を併用する必要があります。

いずれにしても、現在の地殻の状態が分かればそれを初期条件として計算機の中で時間を進めることができます。これは予測シミュレーションということになります。

予測シミュレーションの結果は最初は使いものにならないかもしれません。というのは、シミュレーションモデルのもろもろの曖昧さ、すなわち初期条件や境界条件のばらつきを考慮すると将来の地震発生時期の推定幅も非常に広がってしまうと予想されるからです。しかし物理モデルの大きなメリットとして、どのような要素がシミュレーション結果に強い影響を与えているか分析できるということが上げられます。つまり、予測精度を低下させる原因を診断できます。天気予報の場合がそうであったように、診断と処方箋を繰り返すことにより、だんだん「使える」モデルになる可能性があります。今重要なことは、少しでも早くたたき台を作ることだと考えています。

## 3. 進捗状況

図1は以上の考えをまとめたフローです。まず最初に、地震震源の分布や地震トモグラフィによる速度構造や減衰構造に関する研究成果、また岩石強度の実験などの研究成果など地震発生を理解するための個別の研究成果を統合して、日本列島規模の3次元不均質粘弾性地殻モデルを作ります(同図(a))。

この段階ではまだ活断層はモデルに組み込まれていませんが、この地殻モデルを東西方向に圧縮するシミュレーションを実施したところ、特定の地域に高歪が分布する様子が示されました（図2）。同図に示される歪の分布パターンはGPSデータが示すものと定性的に良く一致しています。地殻の厚さの不均一の影響で歪や力が特定の場所に集中して、活断層が活動するための場が与えられたと考えることができます。実際、計算結果による歪量は観測値の半分程度でしたので、今後モデルに活断層を埋め込むことで（図1(b)）残りの半分が説明されるようになる可能性があります。

現在、均質な粘弾性地殻モデルに活断層の深部延長を埋め込む予備解析を実施しているところです（図3）。ここで埋め込んだ活断層の深部延長部はシェアゾーンと呼ばれていて、概ね10 kmより

深い部分です。ここは普段からずると定期的に動いていると考えられています。このずるとの動きがその近傍に変形と力の集中を作り出し、それが地震の引き金を引きます。

最後に、活断層の10 kmよりも浅い部分も地殻モデルに埋め込んで地震発生を繰り返すようにして地殻モデルの完成とします（図1(c)）。以上のモデル化の各段階でGPSデータや地質学的な歪分布、活断層の平均活動度のデータ等を用いてモデルを検証あるいは洗練したいと考えています。当面、現センターの設置期間内（あと2年）にここまで到達するのが目標です。順調にいけば、その後、活断層の活動履歴の再現によるシミュレーションモデルの調整と予測シミュレーションの実施という流れを考えています（図1(d), (e)）。

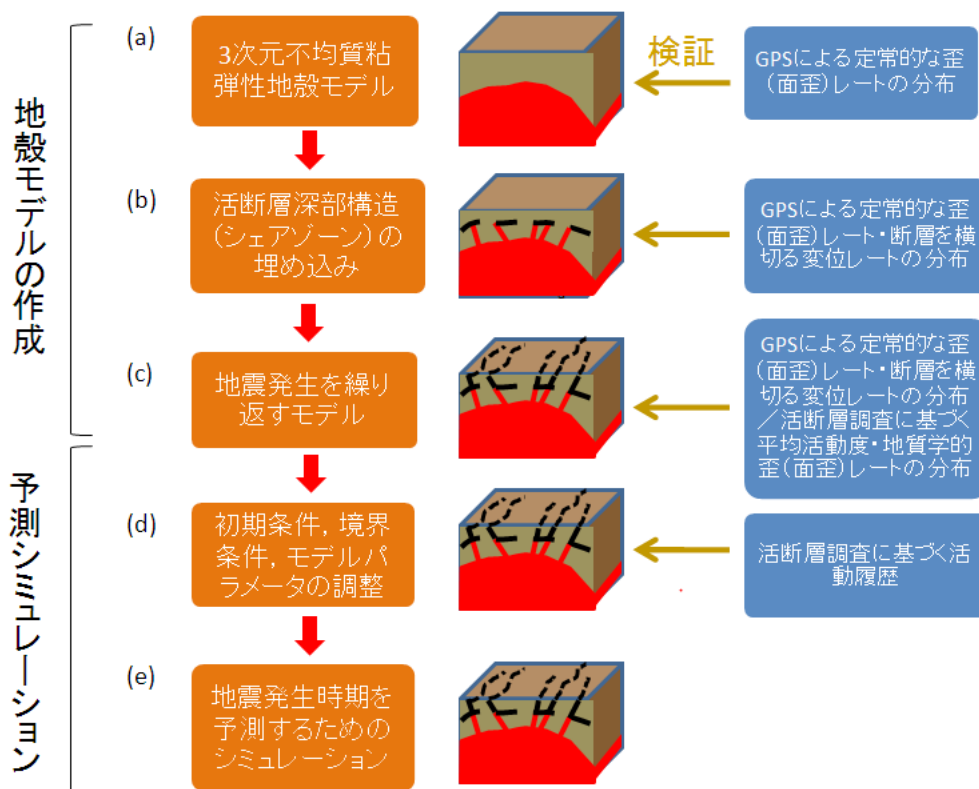


図1 予測シミュレーションまでのフロー。

### 地表の歪速度

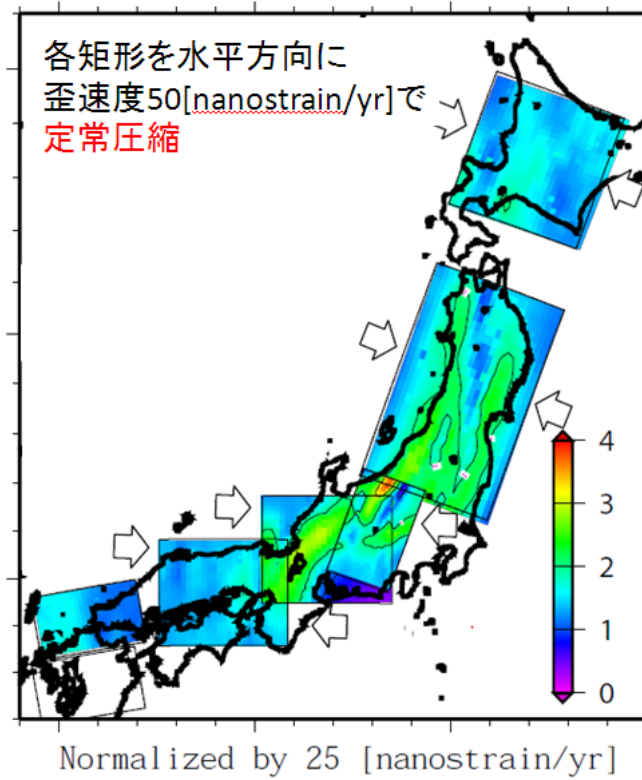


図2 地殻モデルを東西圧縮するシミュレーション結果.

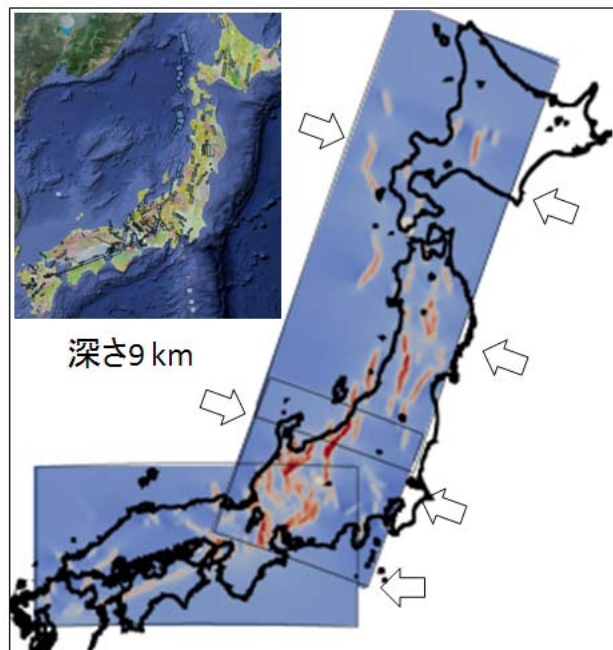


図3 地震本部による110活断層と主要27地震断層の深部延長(シェアゾーン)を埋め込んだモデルによる深部変形シミュレーションの予備解析結果.



## 2011年 American Geophysical Union の Fall Meeting 参加報告

今西和俊 (地震発生機構研究チーム)

2011年12月5日から9日にかけて、2011年 American Geophysical Union (AGU) の Fall Meeting が開催されました。会場は毎年恒例のサンフランシスコ市 Moscone Center です。年々大きくなるこの学会ですが、今年も参加者数は2万人を超えたということです。

今大会は、東北地方太平洋沖地震後の最初の AGU Fall Meeting ということで関連セッションが多いことが特徴でした。初日の“The 11 March 2011 Tohoku Tsunami: Field Observations and Modeling (Natural Hazards)”セッションを皮切りに、3日目から最終日まで3日連続して“The Great 11 March 2011 Tohoku Earthquake (Union)”セッションが開催されました。さらに、4日目から最終日までの2日間にわたり“What Geodesy Can Derive From the 2011 Great Tohoku, Japan, Earthquake? (Geodesy)”セッションが開催されるなど、大会全体を通して様々な観点から白熱した議論が交わされました。また、4日目の午後には金森博雄先生が”Union Frontiers of Geophysics Lecture: Tohoku to Tsunami: Personal Account From Science to Experience”において、“Bridging the gap between science and practice in seismology -Lessons from the 2011 Tohoku-oki earthquake”と題した特別講演をされました。講演会場は Moscone Center の中でも広い部屋であったにもかかわらず、立ち見が出るほどの大観衆でした。金森先生のお話の中では、「地震学は災害を軽減するためにまだまだやれることがある」「科学としては良い方向を向いている」というポジティブな点について触れられたことが印象に残りました。日本にいると「地震学の敗北」といったネガティブな言葉が先行して気持ちが落ち込みがちですが、「それではいけない」というメッセージでもあったと個人的に感じました。

今大会は耳を澄ませば”Tohoku”という言葉があちこちから聞こえてくるほど東北地方太平洋沖地震の話題が多かったわけですが、もちろん、その他にも興味深い発表は多くありました。中でも、地熱や石油・ガス開発における誘発地震活動のモニタリング技術が随分と高いレベルにあることに感銘を受けました。これまでこの分野についてはあまり意識してこなかったのですが、流体移動・応力

擾乱と地震発生との関係、大量データの自動解析技術、被害予測、など共通するテーマも多く、大いに参考になりそうです。また、私の最近の研究テーマの一つであるゆっくり地震に関しては2日間にわたりセッションが開催されました(“Observations and Modeling of Tremor and Slow Slip and Implications for Plate Boundaries (Seismology)”)。セッション全体で24件の口頭発表、44件のポスター発表がありました。この分野は学生やポスドクなどの若い研究者が多く活気に満ち溢れており、その結果として研究の進展も早いように思います。

さて、私自身は何をしてきたかということ。“The Great 11 March 2011 Tohoku Earthquake (Union)”セッションで“Unusual shallow normal-faulting earthquake sequence in compressional northeast Japan, activated after the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku earthquake”と題したポスター発表を行いました。内容は東北地方太平洋沖地震の直後から福島県浜通り周辺で活発化した正断層型地震の発生原因について調べたものです。良く知られているように東北日本は東西圧縮場で特徴づけられており、東北地方太平洋沖地震をさかいに圧縮場から伸長場に変化したという可能性が指摘されていました。しかし、極微小地震を詳しく解析してみると、福島県浜通り周辺はもともと正断層場であったことが明らかになりました。この結果をもとに、局所的に正断層場であった領域に東北地方太平洋沖地震による東西伸長の応力変化が加わったことで正断層型地震が活発化したというシナリオを提案しました。発表は最終日の午後ということで人もまばらになってしまったのは残念でしたが、その分、一人一人と時間をかけて議論できたのは収穫でした。その他に共著として、“The Mw 5.8 Virginia Earthquake of August 23, 2011 and its Aftershocks: A Shallow High Stress Drop Event” (Bill Ellsworth氏が口頭発表,) “3D array observation of the low frequency earthquakes in Tokai subduction zone, central Japan (鈴木貞臣氏がポスター発表,)” “After-slip of Mw 7.3 foreshock and triggering of Mw 9.0 mainshock: analysis of seismicity and numerical modeling” (当センターの安藤亮輔氏が口頭発表) の3件の発表もありました。安藤氏の発表の一部は論文としてまとめられております

ので、そちらもご覧ください (<http://www.terrapub.co.jp/journals/EPS/pdf/2011/6307/63070767.pdf>).

最後に、今大会から始まった ePOSTER という AGU の新しい試みについて紹介します。これは自分のポスターを学会ウェブ上にアップロードできるサービスで、発表者に質問やコメントもすることができます。当日見損ねたポスターや学会に参加できなかった人にはとても良いサービスだと思います。私も ePOSTER にポスターをアップロードしようと試みたのですが、ファイルを 5MB 以下にしないといけない制約があったことで断念しました。出国直前で時間も無く、どうやっても 5MB 以下で十分な解像度を持つファイルを作ることができませんでした。今となっては悔やまれます。なお、ePOSTER は <http://eposters.agu.org/eposter-search/> でご覧になることができます。

活断層・地震研究センターが行った発表（センター所属員が筆頭の発表のみ）

● 12月5日

Source Area of the AD 869 Jogan Earthquake, a Possible Predecessor of the 2011 Tohoku Earthquake  
行谷佑一ほか

● 12月6日

A New 3D Seismic Velocity Model Derived from Waveform Modeling with Tomography Inversion in Southwestern Japan  
林田拓己ほか

Long interval microtremor array survey in sedimentary basin  
吉見雅行ほか

Active fault database of Japan: Its construction and search system  
吉岡敏和・宮本富士香

Difference in mechanical and hydrological properties between hemipelagic and turbidite mudstones cored from the Nankai Trough accretionary prism at Site C0002 of the IODP Expedition 315

高橋美紀ほか

● 12月7日

After-slip of Mw 7.3 foreshock and triggering of Mw 9.0 mainshock: analysis of seismicity and numerical modeling

安藤亮輔・今西和俊

Direct evidence and generation conditions of triggered slow slip event by teleseismic surface waves

板場智史・安藤亮輔・武田直人

● 12月8日

Surface ruptures associated with the 2011 Mw6.6 Fukushima Hamadori earthquake (northeast Honshu, Japan): normal faulting in trench-normal stretching forearc subsequent to the 2011 Great Tohoku megathrust earthquake

丸山 正・粟田泰夫・吾妻 崇

Dynamic rupture scenarios for strong ground motion prediction

加瀬祐子ほか

Triggering processes of seismicity and changes in crack shape during the water penetration into a stressed rock

増田幸治ほか

● 12月9日

Unusual shallow normal-faulting earthquake sequence in compressional northeast Japan, activated after the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku earthquake

今西和俊・安藤亮輔・桑原保人

外部委員会等 活動報告 (2011 年 12 月)

2011 年 12 月 2 日

第 8 回 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 12 月 2 日

原子力安全委員会 当面の施策の基本方針の推進に向けた外部の専門家との意見交換－発電用軽水型原子炉施設におけるシビアアクシデント対策について (岡村出席 / 東京)

想定を超える津波に対する安全確保の基本的考え方について他

2011 年 12 月 9 日

地震調査委員会 (岡村出席 / 文科省)

平成 23 年 11 月の地震活動について他

2011 年 12 月 12 日

第 9 回 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 12 月 12 日

第 6 回南海トラフの巨大地震モデル検討会 (岡村出席 / 内閣府)

深部地盤モデルの構築について他

2011 年 12 月 16 日

第 10 回 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 12 月 16 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 11 回活断層分科会 (吉岡出席 / 東京)

2011 年 12 月 19 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。

2011 年 12 月 19 日

原子力安全委員会 当面の施策の基本方針の推進に向けた外部の専門家との意見交換－発電用軽水型原子炉施設におけるシビアアクシデント対策について (岡村出席 / 東京)

想定を超える津波に対する安全確保の基本的考え方について他

2011 年 12 月 26 日

茨城県原子力安全対策委員会 (吉岡出席 / 東京)

「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価」について、「東海第二発電所の安全性の確認に必要な事項」について議論した。

2011 年 12 月 26 日

原子力安全委員会 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

12 月 27 日

第 7 回南海トラフ巨大地震モデル検討会 (岡村出席 / 内閣府) 中間取りまとめ

12 月 27 日

第 10 回 地震・津波に関する意見聴取会 (杉山, 岡村出席 / 原子力安全・保安院)

若狭湾の津波について他