

Contents

Topics

- 歴史津波の高さの推定手法に関する今後の展望 … 1

Report

- 第24回国際津波シンポジウム参加記 … 6
- 第6回 AOGS 参加記 … 7
- 外部委員会活動報告 (2009年8月)



歴史津波の高さの推定手法に関する 今後の展望

行谷佑一 (海溝型地震履歴研究チーム)

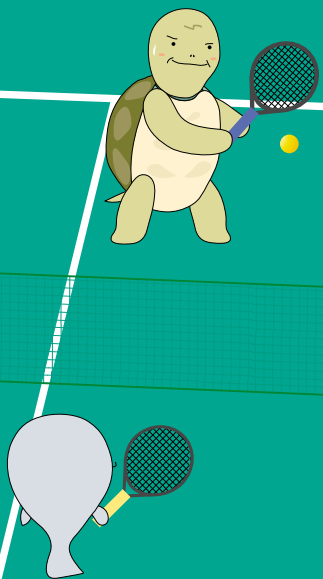
1. 歴史津波のデータ推定手法の問題点

観測機器が存在しない時代 (おもに江戸時代) に発生した津波の高さは、どのようにして知ることができるのであろうか? 一般的には、歴史資料の中で具体的に津波の高さが判明するような記述に注目し、それに基づいて現地調査などを行うことである程度知ることができる。たとえば、信頼できる歴史資料の中に「寺の階段の三段目まで波が入る」などという記述があれば、その階段の三段目の高さを実際に測量することで津波の高さを知ることができる。このような手法により、江戸時代などに発生した津波の高さについて、これまで多くの研究がなされてきた (例えば、羽鳥, 1980)。

しかしながら、具体的な津波の高さには結びつかない記述も多く残されている。たとえば、元禄十六年十一月二十三日 (西暦 1703 年 12 月 31 日) に発生した元禄関東地震による津波に関して、同時代資料に次の記述が残されている。すなわち、柳沢吉保の日記である『楽只堂年録』(らくしどうねんろく) には、千葉県山武郡九十九里町の片貝集落に関するものとして、

長谷川伊兵衛知行所上総国山辺郡之内地震津浪ニ而損亡
高二百石場
片貝村
一 流家八拾八軒、死人男女八拾壱人、損馬三疋
一 田畑潮入荒

という記述がある。この記述の意味は、片貝村のうち長谷川伊兵衛が治める領地では、元禄地震津波によって 88 軒の家が流され、死者 81 人、馬 3 匹損失し、田畑は津波が浸入して荒地となった、と解釈される。同様の記述は他の集落においても残されており、津波により大きな被害があったことを知ることができる。ところが、具体的にどの程度の津波の高さであったかは判然としない。このような問題を解決するには、津波の高さと被害の程度とを結びつける関係を得ることが一つの方策となる。



2. 津波の高さと被害の程度を結びつける関係

従来、津波の高さと被害の程度を結びつける関係としては、代表的なものとして首藤（1992）の研究例がある。首藤（1992）は津波被害の記録をまとめた上で、津波高が2m以上では家屋は全壊し、1mから2mでは半壊するという関係を提案している。この関係は内閣府中央防災会議の専門委員会でも採用され、数値解析により得られた津波高さ分布に応じて建物被害棟数が推計されている。しかしながら、この被害評価法は一律的であり津波高さの局所性や被害発生の不確実性などを十分に考慮しているわけではない。

ここで、不確実性とは同じ津波高さであっても破壊や流失する家屋もあれば被害を受けない家屋もある、ということなどを意味する。このような問題へは、ある津波の高さに対して一戸一戸の家屋がどの程度被害を受けるかを考察することも重要ではあるが、集落内のまとまった戸数のうち何戸程度が流失するか（流失率）、といった統計的な扱いが有効であろう。そのような観点において、津波の高さと家屋の流失といった被害とを統計的に結びつける試みとして、近年「津波被害関数」というものが提案されている（たとえば Koshimura et al., 2009）。

3. 津波被害関数とは

津波被害関数とは、津波の外力と被害率とを結びつける関係式を意味する。すなわち、津波の外力がいかほどの時に被害率が何%の被害が発生するか、などの関係を表すものである。ここで外力とは、津波の浸水高（平均海面や津波来襲時の海面を基準）を用いる場合や、浸水深（浸水した場所での地盤面を基準）を用いる場合がある。あるいは、流速や流体力を扱うこともできる。いっぽうで被害率とは、家屋の全戸数に対する流失した戸数の割合などが挙げられるが、家屋に限らず死亡率といった人的被害にも拡張することができる。

津波被害関数に使用する関数形としては、地震動による建物被害関数を参考にして、対数正規分布や正規分布による次の2式のいずれかで被害率 P_D を表すことができる。

$$P_D(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}\xi t} \exp\left(-\frac{(\ln t - \lambda)^2}{2\xi^2}\right) dt \quad (1)$$

$$P_D(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(t - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) dt \quad (2)$$

ここで x は津波の浸水高や浸水深といった外力、 (λ, μ) および (ξ, σ) は $\ln x$ または x の平均値と標準偏差である。

津波被害関数の構築には、様々なアプローチがある。まず津波の外力については、現地調査や数値計算などから津波の浸水高や浸水深、流速、流体力などを推定する。被害率については、津波前後に撮影された衛星画像を比較することで推定することができる（後述）。その他、現地で直接調査した被害率や、歴史資料に記録された被害の状況から被害率を推定する方法もある。このようなアプローチにより、横軸に津波の外力を、縦軸にそれに対応する被害率をプロットし、その分布をもっとも良く説明するような上式の平均値 (λ, μ) ならびに標準偏差 (ξ, σ) を、最小自乗法により推定することで被害関数を構築することができる。

次章ではその構築例として、2004年インド洋津波の来襲前後に Banda Aceh 市街地上空から撮影された衛星画像と、現地調査により明らかになった津波の浸水高および浸水深とを用いて構築した津波被害関数を、行谷・都司（2006）を引用して説明しよう。

4. 津波被害関数構築の具体例

2004年12月26日に発生したインド洋津波の来襲により、インドネシアのスマトラ島北部に位置する Banda Aceh 市街地では壊滅的な被害に見舞われた。米国の Digital Globe 社は津波来襲の約半年前である2004年6月23日と、津波来襲直後の2004年12月28日に Banda Aceh 市上空から衛星画像を撮影した。この衛星画像の解像度は高く、一軒一軒の家屋の分布状況だけでなく、家屋の屋根の色や形状を細かく認識できる。その例として、Banda Aceh 海岸部の Ulee Lhue における津波来襲前後の衛星画像を写真1に載せたが、これらを比較することで、津波によって家屋が流失したか否かを一軒一軒について判断することができる。

そこで、人間の目による判断から Banda Aceh 市内中心部における流失家屋分布を作成した（図1）。この図からわかるように、海岸側はほとんどの家屋が流失しているのに対し、内陸側ではほとんどの家



写真1 (a) 2004年インド洋津波来襲前(2004年6月23日)に、Banda Aceh市 Ulee Lhue 上空から撮影された衛星画像 (b) 2004年インド洋津波来襲直後(2004年12月28日)に同地域で撮影された衛星画像。

屋が流失から免れていることがわかる。なお、流失から免れた家屋は完全に無被害であるということではない。実際には屋根が残ったものの壁が破壊された場合なども考えられるが、衛星画像からはそれを判読することはできない。

いっぽう、この家屋流失を調査した地域では、津波来襲直後の現地調査により津波の浸水高や浸水深が測定されている(Tsuji et al., 2006)。そこで、この測定された地点を中心に半径100mの円を描き、その円内での流失戸数と残存戸数をカウントした。そして、 $[\text{流失戸数}]/[\text{流失戸数}+\text{残存戸数}(\text{全戸数})]$ により定義した流失率を各測定地点で計算し、そこでの浸水高や浸水深に対してプロットしたものが図2である。これによれば、浸水高が6m付近で流失率が急激に上昇することがわかる。また、浸水深についても3m付近で流失率が急激に上昇することがわかる。さらには、浸水高が10mあるいは浸水深が6m程度を越すと、ほぼ全ての家屋が流失することがわかる。

つぎに、これらの分布を基に津波被害関数を構築した。被害関数の関数形は正規分布の累積密度関数を用いた(式2)。そして、図2で示した流失率の分布にもっとも適合するように、正規分布の平均値(μ)と標準偏差(σ)を最小自乗法により決定した。その平均値と標準偏差による被害関数を図2の実線で示す。この図からわかるように、若干のばらつきがあるものの、津波被害関数は目視から推定された流失率を良く表している。

5. 歴史津波のデータ推定に関する今後の展望

このようにして構築した津波被害関数は、被害想定を行う上で重要な基準となることが期待される。すなわち、例えば数値計算により得られた津波の浸水高や浸水深の情報から、そこでの家屋の流失率などをより客観的に推定することが可能である。

いっぽうで、このような使い方とは逆に使うことで、歴史津波の現象解明へ一歩前進できる可能性がある。1章で言及したが、歴史資料の中には被害の記述はあるものの、津波の浸水高や浸水深といった具体的な情報が判明しない記述が多く残されている。このような記述に対しては、その記述を基にまず流失家屋の戸数や死者数などを集落ごとに整理し流失率や死亡率を推定する。そして、構築した津波被害関数を用いることで、この流失率や死亡率に対応する津波の浸水高や浸水深が推定される。

ただし、ここに紹介したインドネシアでの津波被害関数をそのままわが国の歴史津波に適用させることは短絡的である。津波被害関数は、被害を受ける地域の家屋の強度や、波源の違いなどによって異なるであろう。あるいは、たとえば同じ地域や波源であってもその構築手法によっては推定する被害関数にずれが生じる可能性がある。すなわち、衛星画像を用いて被害を推定する場合と被害記録を用いて推定する場合とでは、同じ現象を見ていても構築する被害関数は異なるかもしれない。

そこで今後の課題としては、様々な波源、地域、被害推定の手法、および浸水高などの推定手法によって津波被害関数がどの程度異なるのかを調べ

ることが挙げられる。このような調査は時間や労力が多大に必要となる。しかしながらこれらを克服すれば、歴史資料によって得られた被害率から、津波の高さをより客観的（統計的）に推定する手法が確立し、歴史津波の世界がさらに拓がることが期待される。

なお、津波被害関数の構築については、Koshimura et al.（投稿中）や越村・他（投稿中）などで詳細に説明がされている。詳しくお知りになりたい方はそちらをご参照願いたい。

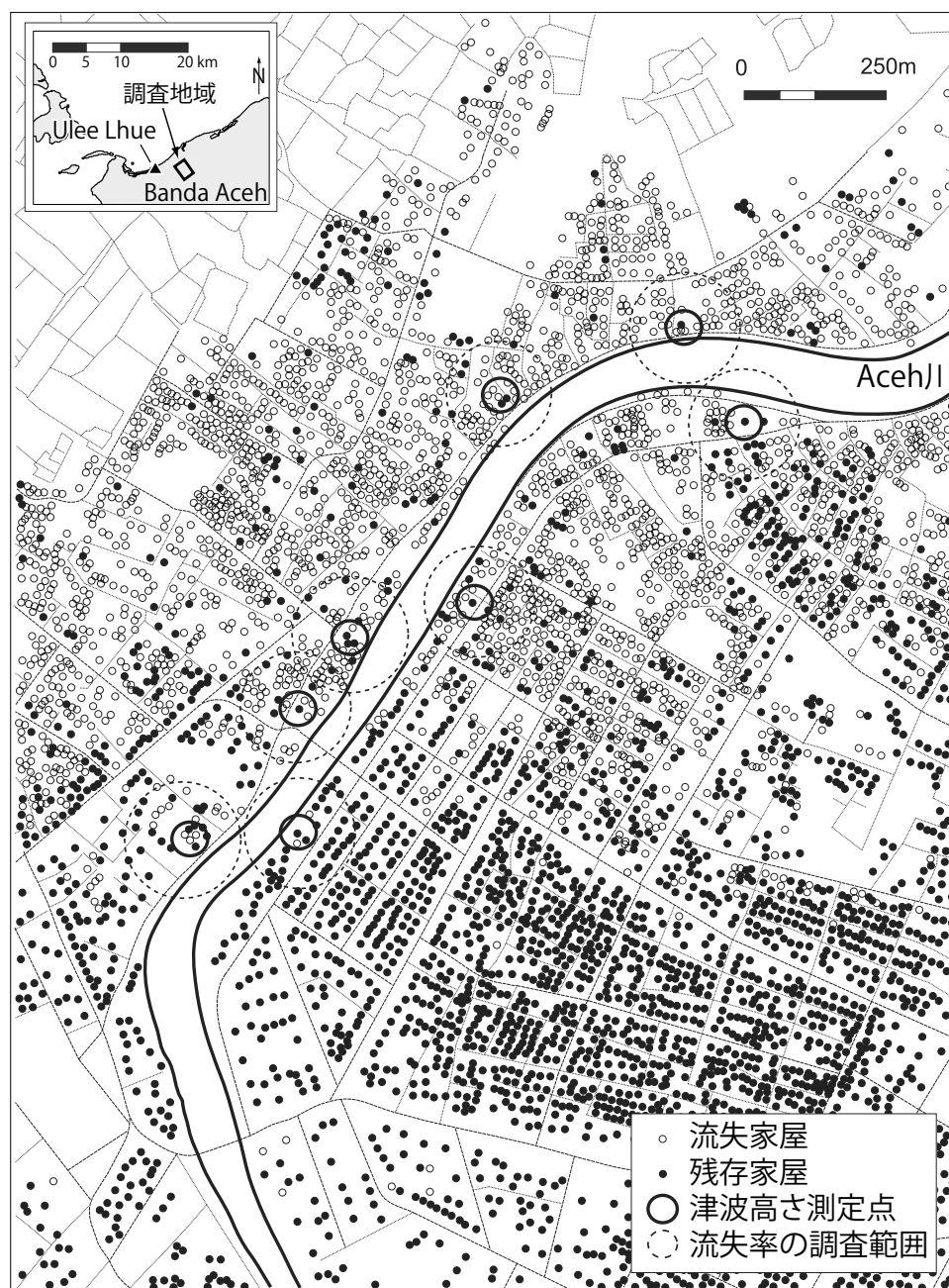


図1 衛星画像から推定された Banda Aceh 市内中心部における家屋流失状況。
図の上方が海側、下方が陸側を表す。

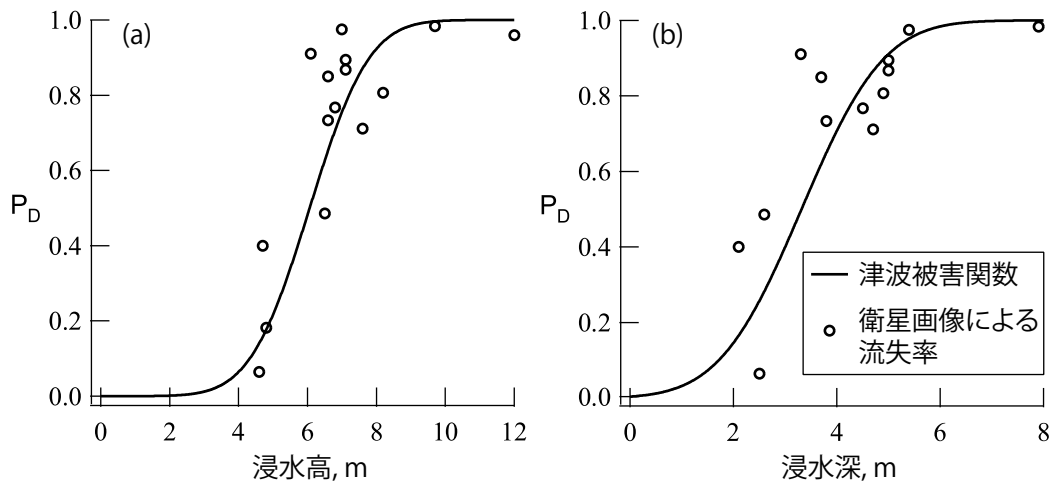


図2 現地調査により測定された津波の浸水高 (a) および浸水深 (b) と、その測定された地点における衛星画像から推定された家屋流失率の関係。各測定地点における家屋流失率は、図1中の点線内における流失家屋ならびに残存家屋の戸数を数えることで算出した。なお、図1中の測定値点数(8地点)よりも本図の測定値点数が多いが、これは Banda Aceh 市内の他の地域においても同様の調査を行った結果を合わせたことによる。

文献

- 羽鳥徳太郎, 1980, 大阪府・和歌山県沿岸における宝永・安政南海道津波の調査, 地震研究所彙報, 55, 505-535.
- Koshimura S., T. Oie, H. Yanagisawa, and F. Imamura, 2009, Developing fragility functions for tsunami damage estimation using numerical model and post-tsunami data from Banda Aceh, Indonesia, Coastal Engineering Journal, 51, 243-273.
- Koshimura S., Y. Namegaya, and H. Yanagisawa, Tsunami fragility –A new measure to identify tsunami damage –, Journal of Disaster Research, 投稿中.
- 越村俊一, 行谷佑一, 柳澤英明, 津波被害関数の構築, 土木学会論文集, 投稿中.
- 行谷佑一, 都司嘉宣, 2006, 衛星画像から判明した Indonesia 国 Banda Aceh 市街地の 2004 年インド洋津波による流失家屋の分布, 海岸工学講演会論文集, 53, 286-290.
- 首藤伸夫, 1992, 津波強度と被害, 津波工学研究報告, 9, 101-138.
- Tsuji Y., Y. Tanioka, H. Matsutomi, Y. Nishimura, T. Kamataki, Y. Murakami, T. Sakakiyama, A. Moore, G. Gelfenbaum, S. Nugroho, B. Waluyo, I. Sukanta, R. Triyono, and Y. Namegaya, 2006, Damage and height distribution of Sumatra earthquake-tsunami of December 26, 2004, in Banda Aceh city and its environs, Journal of Disaster Research, 1, 103-115.

REPORT

第24回国際津波シンポジウム参加記

2009年
7月14日-17日

行谷佑一

2009年7月14日から17日にかけて、ロシアのノボシビルスクにおいて第24回国際津波シンポジウム (ITS, International Tsunami Symposium) が開かれた。同シンポジウムは、通常2年に一回開催されるが、そのうち4年に一度はIUGG (International Union of Geodesy and Geophysics) 開催時にその一部として開催される。これまで、2007年はイタリアのペルージャ (IUGG) において、2005年はギリシャのクレタ島において開催された。

このシンポジウムには毎回世界中の津波研究者が集まるが、今回も日本、アメリカ、ロシア、オーストラリア、ニュージーランドなどの国から60名以上の研究者が参加し、最新の研究成果報告が行われた。活断層・地震研究センターからは行谷が参加した。

発表内容は多岐にわたり、津波の発生・伝播の物理、伝播の計算法、波源推定、海底地滑り、津波堆積物、被害、沿岸部の危険度評価、予警報システムおよびそのための津波予測、データベース、住民の避難対応、および防災教育などの発表が行われた。とくに、沿岸部の危険度評価については発表件数が多く、カリフォルニアやカディス (スペイン)、間宮海峡、黒海、クリル諸島などを対象とした研究報告が行われ、危険度評価に対する世界的な関心度の高さを感じた。津波予測に関しては、NOAAのTitov氏が地震計によるデータやDART (Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis, 海底に設置された津波計) によるデータなどを用いて、あらかじめ計算しておいた津波波形のライブラリからその地震による津波の波形をリアルタイムに予測する手法が紹介された。奇しくも同シンポジウム開催中の7月15日にニュージーランド南部でマグニチュード7.8 (USGS) の地震が発生し小さな津波 (震源近くのJackson Bayで片振幅20 cm以下) が発生したが、翌日の16日にTitov氏による解説があり、津波予測が成功したことが報告された。行谷は16日に2007年新潟県中越沖地震の津波波形を用いた震源モデルの解析について口頭発表を行った。発表後に私の解析手法について、Russian Academy of SciencesのAndrei G. Marchuk氏が興味を持って下さり、より詳細な議論をさせていただいた。最終日の17日にはワークショップが行われ、深海や沿岸における津波観測についての話題や、津波の予警報に関する比較的技術的な話題が議論された。

なお、本出張は、独立行政法人原子力安全基盤機構の原子力安全基盤調査研究事業の一環として実施させていただきました。記して感謝いたします。



シンポジウムの会場となった Dom Uchenykh.



学会場内の様子。



会場周辺に位置するショッピングセンターの様子。

REPORT

第6回 AOGS 参加記

2009年
8月11日-15日

行谷佑一

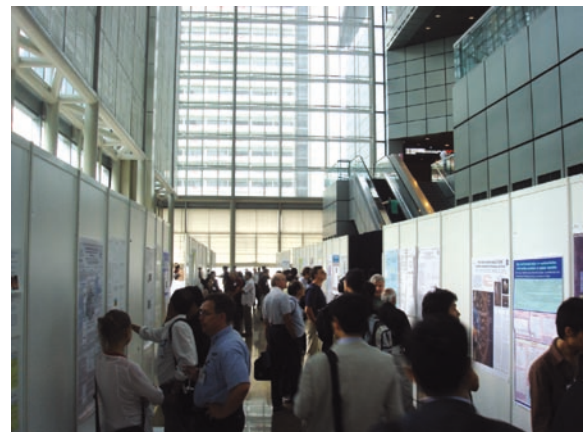
2009年8月11日から15日にかけて、シンガポールにおいて AOGS（アジア太平洋地球科学連合, Asia Oceania Geosciences Society）の第6回会議が開催された。会場は2004~2006年大会と同様に、Suntec 国際会議センターで行われた。活断層・地震研究センターからは、小泉、藤原、および行谷が参加および発表した。行谷は元禄地震の断層モデルについて口頭発表を行った。小泉は四国および紀伊半島に展開する地下水観測網について口頭発表し、藤原は駿河湾における津波堆積物についてポスター発表を行った。

AOGS は地震学に限らず地球科学に関するあらゆる分野の研究成果を発表する場である。その発表件数は大変多く、5日間の発表期間中に同時に最大で14セッションが開催された。とくに4日目の午前には、スマトラ島周辺の地震や津波および地殻変動に関するセッションと、津波の物理に関するセッションが同時開催されたため、残念なことに聴講できない研究発表もあった。

聴講した中では、Nanyang Technological University の Kerry Sieh 教授によるスマトラ島沖の古地震履歴に関する興味深い発表があった。スマトラ島中部西岸の Padang 沖合にある島々で、最低潮位面付近まで成長するサンゴ群体の microatoll の高度分布およびその年代を調査した。その結果、北側の Siberut 島や南側の Pagai 島ではこれまで地殻変動を伴う大地震がたびたび発生しており、近年では2007年に南側の Pagai 島周辺で Mw8.4 の大地震が発生したことから、近い将来に北側の Siberut 島周辺で地震が発生する可能性を指摘した（なお、この内容は2008年の Science 誌 (Vol 322) に報告されている）。また、4日目の午後には Distinguished lecture が開かれ、台湾国立大学の J. Suppe 教授による1999年集集地震に関する発表が行われた。地震による地表面の変形、およびこれまでの地震により累積された変形を説明する断層の3次元構造についての話などがあった。5日目にはインド洋や太平洋における津波に関するセッションがほぼ1日中開催された。中でも、Chulalongkorn University の Kruawun Jankaew 氏による、津波堆積物の粒度分析から津波の高さを推定する、という興味深い話があった。



会場となった Suntec シンガポール国際会議センター。



ポスター発表会場の様子。



会議場内の様子。

外部委員会等 活動報告 (2009年8月)

2009年8月3日

原子力安全・保安院 耐震・地盤意見聴取会 (杉山・吾妻・岡村出席 / 経産省)
東京電力東通り発電所周辺の活断層などについて議論した。

2009年8月4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50回活断層評価分科会 (吉岡出席 / 東京)

2009年8月4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25回会合 (加瀬出席 / 東京)
北海道電力株式会社 泊原子力発電所周辺の活断層と基準地震動についての説明および質疑応答が行われた。

2009年8月7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 WG1 第14回会合 (加瀬出席 / 東京)
東京電力株式会社 福島第一, 第二原子力発電所の耐震安全性に係る中間報告の評価について, 原子力安全・保安院より説明を受けた。

2009年8月10日

地震調査委員会 (岡村出席 / 文科省)
7月の地震活動, 琵琶湖西岸断層帯の評価, 長周期地震動予測地図等について議論した。

2009年8月11日

地震調査委員会 (臨時会) (岡村出席 / 文科省)
8月11日に駿河湾で発生した地震について, 観測データの紹介に基づいて, 評価を行った。

2009年8月21日

地震予知連絡会 (桑原出席 / 東京)
8.11 駿河湾の地震について, 地殻活動モニタリング結果, 重点検討課題 (プレート境界浅部の固着とすべりのモニタリング) について検討した。

2009年8月24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 WG4 第6回会合 (加瀬出席 / 東京)
日本原燃株式会社 再処理施設及び特定廃棄物管理施設, 東北電力株式会社 東通原子力発電所周辺の地質・地質構造についての説明および質疑応答が行われた。

2009年8月24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)
震源を特定せず策定する地震動について, 議論がおこなわれた。

2009年8月25日

神縄・国府津-松田重点運営委員会 (丸山出席 / 東大地震研)
各サブテーマ担当者が研究内容と年次計画について説明した。

2009年8月25日

原子力安全委員会 耐震安全性評価特別委員会 第12回地質・地盤に関する安全審査の手引き検討委員会 (宮下出席 / 東京)
原子力発電所の地質, 地盤に関する安全審査の手引きについて審議した。

2009年8月26日

地震調査研究推進本部地震調査委員会第150回長期評価部会 (吉岡出席 / 東京)

AFERC NEWS

No.5 August 2009

発行日 2009年9月17日

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

問い合わせ 〒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

ホームページ <http://unit.aist.go.jp/actfault-eq/index.html>