

日本地震学会モノグラフ

Monograph of the Seismological Society of Japan No.7

2024年4月 第7号

等身大の地震学をどう社会に役立てるか

(モノグラフ「等身大の地震学をどう社会に役立てるか」編集委員会)

公益社団法人 日本地震学会

目次

はじめに・・・・・・・・久田嘉章、内田直希、室谷智子、山岡耕春、加納靖之、 入江さやか、中川和之、酒井慎一、松原 誠（モノグラフ編集委員会）	1
1. 招待論文	
「等身大の地震学」とはなんなのか？・・・・・・・・加藤照之	2
臨時情報におけるスロー地震の活用について・・・・・・・・小原一成	6
実学としての地象学・・・・・・・・東田進也	10
2. シンポジウム講演論文	
2-1 特別シンポジウム「大地震発生！「1週間程度は注意」の次は？—後発地震と臨時情 報—」（2022年7月23日）	
「わかりにくい」地震の予測情報にいたる経緯・・・・・・・・山岡耕春	12
『1週間程度』その居心地の悪さ・・・・・・・・谷原和憲	16
大きな地震連鎖の確率予測をどう求めるか・・・・・・・・尾形良彦	20
2-2 特別シンポジウム『等身大の地震学』をどう防災に役立てるのか？—確率論的地震ハ ザード評価とシナリオ型地震被害想定とその利活用—」（2022年12月24日）	
「等身大の地震学」をどう防災に役立てるのか？・・・・・・・・久田嘉章	24
地震・津波ハザード情報とその利活用—不確実性にどう向き合うか—・・・・・・・・藤原広行	30
不確実性・多様性・柔軟性、そしてアロケーション・・・・・・・・矢守克也	34
2-3 特別シンポジウム『地震学』は自治体や消防の現場にどう使えるか—南海トラフや首 都直下の対策現場から問う研究最前線—」（2023年6月16日）	
地震発生の確率とは何を意味するのか・・・・・・・・平田 直	37
南海トラフ地殻活動の現状把握と推移予測の高精度化・即時化に向けて・・・・・・・・ 小平秀一、藤原広行、高橋成実	40
2-4 第16回日本地震工学シンポジウム・オーガナイズドセッション「海溝型巨大地震の予 測情報をめぐる防災対策とリスクコミュニケーション—「わかりにくさ」に向き合う—」 （2023年11月25日）	
南海トラフ地震臨時情報 社会は「わかりにくさ」をどう受け止めるか・・入江さやか	44
「南海トラフ地震臨時情報」をどう伝えるか NHK ドラマの現場から・・森野 周	48
2-5 特別シンポジウム「多様な南海トラフ巨大地震～助かる可能性をあきらめない～」 （2024年12月24日、主催：海陽町、日本地震学会、共催：徳島大学環境防災研究センター） 等身大の地震学を最大限に活用した揺れに対する事前の備えのレベルアップ・・・・・・・・	
堀 高峰	50

3. 投稿論文

地震予知研究結果の社会実装	藤縄幸雄、野田洋一	54
---------------	-----------	----

4. 資料

特別シンポジウム「大地震発生！「1週間程度は注意」の次は？—後発地震と臨時情報—」 (2022年7月23日)

プログラム・開催概要ほか	56
イベント報告：広報紙「なみふる」	59
アンケート結果（抜粋）	61

特別シンポジウム「『等身大の地震学』をどう防災に役立てるのか？—確率論的地震ハザード評価とシナリオ型地震被害想定とその利活用—」(2022年12月24日)

プログラム・開催概要ほか	63
情報誌「日本地震学会ニュースレター」	66
アンケート結果（抜粋）	69

特別シンポジウム「『地震学』は自治体や消防の現場にどう使えるか—南海トラフや首都直下の対策現場から問う研究最前線—」(2023年6月16日)

プログラム・開催概要ほか	71
情報誌「日本地震学会ニュースレター」	72
アンケート結果（抜粋）	73

第16回日本地震工学シンポジウム・オーガナイズドセッション「海溝型巨大地震の予測情報をめぐる防災対策とリスクコミュニケーション—「わかりにくさ」に向き合う—」 (2023年11月25日)

プログラム・開催概要ほか	75
--------------	----

住民セミナー「多様な南海トラフ巨大地震～助かる可能性をあきらめない～」

(2023年12月24日)

プログラム・開催概要ほか	76
--------------	----

2022-2023年度 日本地震学会「地震学を社会に伝える連絡会議」委員名簿	77
--	----

はじめに

「地震学を社会に伝える連絡会議（以下、連絡会議）」は、地震学の現状（等身大の地震学）を社会に伝えるとともに、社会からの地震学への要請を受け止めて学会の今後の活動にも役立てる活動を行っています。2022～2023 年度を中心テーマは「等身大の地震学をどう社会に役立てるか」として活動し、2022 年度には2回のオンラインによる特別シンポジウム、2023 年度には東京ビッグサイトにて特別シンポジウム、パシフィコ横浜にて第16回日本地震工学シンポジウム・オーガナイズドセッション、および、徳島県海陽町の阿波海南文化村・文化館ホールにて住民向けセミナーを、それぞれ開催しました。毎回、招待講演者を招き、会場やオンライン参加者からの質疑や、主催者と講演者によるパネルディスカッション、さらには参加者へのアンケート調査などを実施し、今後の活動の参考になる貴重なご意見等を頂きました。

本モノグラフは、「等身大の地震学をどう社会に役立てるか」をテーマとして、上記の特別シンポジウム等の招待講演の内容に関する論文に加えて、本テーマに関連する招待論文、および、公募による会員からの一般論文で構成されています。招待論文では本テーマに関連した話題提供として、2011 年東日本大震災を契機として用いられるようになった「等身大の地震学」の経緯や内容、南海トラフ地震の臨時情報におけるスロー地震の活用、および、地震学から実学としての地象学の提案など、過去を振り返るとともに、今後の活動に向けた大変示唆に富む論文を投稿頂きました。さらに、シンポジウム等の招待講演でも地震学からメディアの視点まで多様な分野から計10編の大変有益な論文を投稿頂きました。一方、一般論文では短期予知に関する論文を掲載しています。地震の不確かさを踏まえた現在の「等身大の地震学」は、実用的な地震予知は困難であると認識されています。一方で地震予知を目指す研究が行われていることもあり、短期予知に関する投稿についても掲載することにしました。

最後に巻末資料として、本モノグラフの作成に寄与いただいた連絡会議のメンバー、各シンポジウムのプログラムや日本地震学会ニューズレターや広報紙「なみふる」の紹介、さらに参加者からのアンケート結果なども取りまとめています。本モノグラフが、地震学会会員、さらには地震学や地震防災に関心ある方々の参考になれば幸いです。

日本地震学会・地震学を社会に伝える連絡会議・第7回モノグラフ編集委員会

[第7回モノグラフ編集委員会]

久田嘉章、内田直希、室谷智子、山岡耕春、加納靖之、
入江さやか、中川和之、酒井慎一、松原誠

「等身大の地震学」とはなんなのか？

大正大学地域構想研究所 加藤照之

2011年東北地方太平洋沖地震が事前の想定と大きく異なっており、社会から大きな批判を浴びた。日本地震学会ではこの機会に学会のあり方を総括し、今後の活動方針を定めることとなった。同年秋に実施した「地震学の今を問う」と題したシンポジウムをきっかけとしてモノグラフを刊行することとなり、また、1年後の2012年10月にいわゆる「行動計画2012」を発表した。この中に登場したのが「社会に対して、“等身大”の地震学の現状を伝えていくこと」という項目であり、このために学会に「地震学を社会に伝える連絡会議」を創設した。本稿はこうした経緯を振り返り、「等身大の地震学」のあるべき姿について考察する。

1. はじめに

本モノグラフでは、日本地震学会（以下、地震学会と略記する）が2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震を契機として創設した「地震学を社会に伝える連絡会議」が主催・共催して実施した4件のシンポジウムをもとに構成されたものである。あいにく筆者自身はこれらのシンポジウムには参加しなかったのであるが、本モノグラフの企画担当の方から「等身大の地震学」の言葉の意味や、この言葉が使われるようになった経緯などについて執筆してほしい、との依頼を受けたので筆をとることになった。この言葉の意味について述べる前に、モノグラフの企画を担当している「地震学を社会に伝える連絡会議」創設の経緯について記載しておく必要があると思うので、そこからスタートしたい。そして、「等身大の地震学」はなんなのか、そして、どうあるべきかについて考えてみたい。

2. 「地震学を社会に伝える連絡会議」創設の経緯

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震及びそれに伴う巨大な津波によって多くの人命が失われた。この地震は、発生時刻はともかくその発生場所や大きさはある程度想定できるとするそれまである程度受け入れられてきた考えとは全く異なっていたため、「想定外」という言葉と共に、地震学の研究者に大きなショックを与えることとなった。果たして何が悪かったのか？これから我々はどうすればよいのか？といった声が多数聞かれることとなった。

地震学会では地震直後の3月17日に理事会を開催し、今後1年間で実施すべき活動について議論を行った。この中で、地震に対応する臨時委員会を構成し、同年10月の地震学会秋季大会を一日延長して10月15日に「地震学の今を問う」と題したシンポジウムを行うことと同時に地震学会（当時の会長は京大防災研の平原和朗教授）が今後どう活動すべきかについて議論を行うこととした。この対応については当時副会長であった筆者が担当することとなった。まず、臨時委員会

の座長に名大の鷺谷威教授にお願いすることとし（正式には第一回臨時委員会で選出）、鷺谷氏も含めて委員会の構成を決めた。この臨時委員会は7月26日に第一回が、8月12日に第二回が開催され、地震学会秋季大会で開催されるシンポジウムのタイトルや招待講演者等が決定された。シンポジウムでは以下の4つの論点について講演と議論が行われた：

- 1) 東北地方太平洋沖地震は何故想定できなかったのか
- 2) 地震学会は国の施策とどう関わるのかー地震学研究者・コミュニティの社会的役割とはなにかー
- 3) 地震と地震・津波防災ー「防災」のために何が足りなかったのか、「防災」と如何に向き合うべきかー
- 4) 教育の現場やメディアで地震学の知見をどうつたえるか

このシンポジウムの終了後、講演の内容及び関連する一般投稿を含めてまとめて文書として残すこととした。この文書については地震学会の理事会で議論され、今回のシンポジウムだけでなく、今後地震学会として重要な議論があった場合にそれを文書として残すために地震学会の公式の出版物としてモノグラフを刊行することが理事会で決定された。こうして、「日本地震学会モノグラフ」第一号が「地震学の今を問う（東北地方太平洋沖地震対応臨時委員会報告）」として2012年5月に刊行された。また、2012年春の地球惑星科学連合大会では「地震学への提言」と題するユニオンセッションが企画された。ここでは、前年のシンポジウムの続編としていくつかの講演が行われ、鷺谷臨時委員会座長によるまとめが報告された。このまとめは上記モノグラフに詳細に記載されているのでそちらを参照されたい（鷺谷, 2012）。鷺谷（2012）はこれらのまとめに加え、地震学会が地震学を取り巻く様々な状況を改善するための方策として、1. 会員間の議論の場や機会を設けること、2. 地震・津波防災に関連する他学会との連携の枠組み作り、及び、3. 委員会構成の再検討、の3点を地震学会に対する提言

として掲げた。

以後、これらの提言に対する議論の場は地震学会の理事会に移された。2012年の連合大会において地震学会の会長が平原氏から筆者にバトンタッチされたことで、筆者が引き続き東北地震の対応を進めることになった。理事会も同じく連合大会で新たな体制になったため、5月の連合大会での新理事会メンバーの顔合わせに続いて、6月理事会においては、鷺谷による提言をもとに、シンポジウムにおける様々な意見を踏まえ、今後地震学会がとるべき行動についての素案を作成して理事会で意見交換を行うという方針で進めた。意見をとりまとめつつ、素案を改善してゆき、地震学会理事会としてのアクションプランに結実させたものが2012年秋の地震学会で公表された「日本地震学会の改革に向けて：行動計画2012」（2012年10月11日 日本地震学会理事会）（以下、“行動計画”と略記する）と題する文書である。

この行動計画は6項目の提言と「その他」と題する4項目の検討事項から構成されており、注目の“地震予知”への取組の見直しと共に掲げられたのが「社会に対して“等身大”の地震学の現状を通じて社会に伝えていくべき」という提言である。

この提言の説明の中には、“国民は地震学に対して我々地震研究者自身が考えるよりはるかに大きな期待を寄せていたという指摘”や“平成24年版科学技術白書（文部科学省，2012）における国民に対する3.11地震後の意識変化として科学者に対する国民の信頼感が低下したとの調査結果が報告されて”いることなど、また、“平成24年8月1日に出された科学技術・学術審議会による報告（科学技術・学術審議会，2012）においては、一般的に、研究者の在り方として“社会との対話など多様な手段により、自ら積極的に社会に学ぶことで「社会リテラシー」を向上させ、社会の要請を十分に認識するとともに、自ら社会との関わりの重要性について認識する必要がある”と指摘され、特に地震研究に関しては“(研究の)現状を国民に対して丁寧に説明するとともに、科学的見地から、自然災害に対して適切な防災対策がとられるよう、助言を行う取組が必要である。”との提言がなされている”。

これらのことをふまえ、提言では“地震学の現状を一般市民の目線に立って社会に伝えていくとともに、今後喫緊の課題として重要と考えられる地域防災への貢献及び社会からの要請を受け止める場となることを目的として、関連する「地震予知検討委員会」「普及行事委員会」「強震動委員会」「広報委員会」「学校教育委員会」等の各委員会が連携して「地震学を社会に伝えるワーキンググループ」（仮称）を創設する”と記さ

れている。この提言をもとに理事会でワーキンググループを作って議論した結果創設されたのが「地震学を社会に伝える連絡会議」である。

3. 「等身大の地震学」とは

現在、地震学会のホームページの、この委員会のページには「地震学の現状を社会に伝えると共に、社会からの地震学への要請を受け止めて学会にフィードバックすることを目的とした委員会です。」と書かれている。まさに、地震学会が社会と対話することのための組織として機能しているのがこの連絡会議と言える。この文に「地震学の現状を社会に伝える」とあるが、この「地震学の現状」という言葉の源が前記の行動計画の項目のタイトルにある「等身大の地震学」という言葉であるといつてよいだろう。

この言葉はいったいどこから出てきたのであろうか。行動計画を作成するにあたっては地震学会の理事会での議論を基に記述し、文章自体も理事の方とのやりとりで推敲を重ねたものなので、筆者自身が思いついて書いたのか、理事のどなたかが発言したのか、文章修正の過程で言葉を取り上げたのか、は定かではない。自分でも知りたいと考えていろいろと当時の文章を探ったのであるが、どうやらそれは上記のモノグラフに掲出されている大木による論考（大木，2012）であろうと考えられた。この論考は地震学が社会とどう向き合っていくか、地震学のアウトリーチを科学コミュニケーションの立場から論じたものであり、極めて重要な論考であり、是非一読をすすめたい。

大木（2012）はその中で、特に地震予知の事例をとりあげて、アンケート調査等の事例に触れつつ、以下のように述べている（以下、長くなるが重要なので原文を引用する）“国民と地震学との信頼関係を長期的に築いていくためのコミュニケーションについても一度考えたい。国民からの期待が特に大きい地震予知研究に対して、地震学コミュニティが用意すべき答えは「基礎研究もまた、地震予知研究である」で十分と言えるだろうか。地震学と社会との信頼関係を築いていく上で、われわれ専門家がまずすべきことは、等身大の地震学を示すことではないだろうか。地震学ではわからないことが多く存在すること、わかってきたことにすら大きな不確実性が含まれていること、現段階の地震学の抱える限界、こういったことを示すことは、長期的な信頼関係の構築ばかりではなく、結果的に被害の軽減にもつながるだろう。逆に言えば、過剰な期待を抱かせるような情報発信や、誤解を与えるような行為は、コミュニティ全体に対する社会からの信頼を損なわせるものであり、社会からの不信感を後輩たちへのツケとして残していく行為である。”

以上述べてきたように、「等身大の地震学」を社会に伝えることは、簡単に言ってしまうと、学

術の世界で議論されている地震学の内容やわかったこと、わからないことをわかりやすく、丁寧に、社会に対して発信していくと共に、社会からの疑問や懸念などに誠実に対応していくことで、社会からの信頼を得られるように努力を続けていく、ということなのである。同時に、こうした努力が目に見えるように、このモノグラフなどの出版物や各種のアーカイブを通じてその経緯を後世に残していく必要がある。

モノグラフに関して言えば既にこの号で第7号となり、ほぼ1.5年に1回程度の出版が確保されており、比較的活動が活発に継続されていると言ってよいだろう。個人的感想であるが、連絡会議を創設し、「等身大の地震学」を社会に伝えることをテーマとするシンポジウムの開催やモノグラフの刊行を導入した当時は東日本大震災の直後であったこともあり、学会内部でも改革の機運が高く、このような新企画の導入は必然のことと捉えられていたように思うが、時間が経って東日本大震災の記憶が風化するにしたがって次第にこのような活動も低下してくのではないかと懸念はしていた。しかしながら、今のところ学会として継続して社会との対話の努力が試みられていることについては企画・実行されてこられた連絡会議並びに学会関係者の努力をたたえたい。

一方、この努力が本当に社会の末端にまで行き渡り、地震学が社会から信頼を勝ち得ているのか、というところはまだ十分ではないようにも感じている。学会活動としてやむを得ないのであるが、今回の特集号に関わった4シンポジウムはあくまでも“学術”の立場からの議論が行われている。講演をされた方や議論や意見を述べられた関係者にはジャーナリストや、防災の専門家など、市民の立場をよく理解している方々も参加しているとはいえ、本当の意味での“市民”が参加しているわけではない。地震学が社会に対して直接情報を発する場合は、やはりTVや新聞等のメディアが主たるものになるのであろう。地震や津波が発生するとテレビには地震研究者が登場して地震のメカニズムなどを解説する。あるいは科学番組などで地震のトピックスについての解説がある。このほかにも専門外の読者を対象とした書物や防災講演会などを通じた情報発信などもある。また、最近ではSNS等を通じた発信も次第に活発になってきている。これらの様々な機会により、次第に地震学の現状が社会に伝わっていくことが期待される。しかしながら、SNSなどでは意見等は受け取れるものの、ほとんどは専門家から非専門家に対して一方的に情報が流れるだけである。これらの手法は科学コミュニケーションの立場からは“欠如モデル”などと呼ばれている(例えば、小林(2007)など)。簡単に言えば、科学的な知識の欠如している人たちに対して正しい科

学的知識を専門家が教えてあげる、という活動である。こうした取り組みが無駄とは言わないが、地震学の現状を社会に伝えていくには十分とは到底言えない。

市民が地震学に一番大きく期待しているのは、大きな地震の正確な発生予測であろう。“いずれ地震予知ができれば地震災害の軽減に大きく寄与できる”という期待は市民ばかりでなく、地震学を学び、研究する者にとっても大きな目的であり続けてきたと言えるだろう。残念ながら、この期待と目的は1995年の兵庫県南部地震と2011年の東北地方太平洋沖地震を経て、大きく後退せざるを得なかった。

代わって登場したのが“確率を用いた発生予測”である。この経緯については行動計画の“4)“地震予知”への取り組みを見直すこと”に記載されている。地震学会としては、地震学の現状では“地震予知”が極めて困難であることを認め、地震の将来の発生に関しては確率を用いた“予測”という言葉を使うべきである、とした。このことで、ある意味では、地震予知に関する無益な論争に終止符を打ったと言えるかもしれない。しかしながら、これに代わって、今度は“地震の確率予測”に関しての市民に対する説明責任が登場してきた。果たしてそこで使われている“確率”の意味をどうとらえればよいのか、確率が与えられたとして市民はどうふるまい、どこまで不確実な予測に対して備えればよいのか、問題は一層複雑化したと言っても良いのかもしれない。本モノグラフの対象とするシンポジウムでもこの課題が大きく取り上げられている。地震予知では“あたるのかあたらぬのか”の二項対立であったものが、“いつ起こってもおかしくない”“相対的に発生する可能性が高くなっている”と言われて、困るのは市民である。地震研究者はこれに対する“わかりやすく、納得のいく説明”を市民に対して提示する必要がある。またその説明は“地震研究者によって異なる”のでは困るので、どこかで統一的にその表現が示されなくてはならないのではないだろうか。こうした作業は、本モノグラフに所収されている議論や論説を通じてだけでなく、市民との対話によってこそ作り上げられていくのではないだろうか。専門家から非専門家への一方通行の“伝達”ではなく、対話によって双方が納得のいく表現を見つけ出す作業が必要のように思われる。そのような作業を行う場を地震学会が提供してはどうだろうか。

4. 残る課題

「等身大の地震学」がわかったとして、残った課題がある。それは、地震の不確実な将来発生予測に対して、行政や市民はどう対処すべきなのか、という課題である。“地震予知”が可能なのであれば対処はまだ簡単であるだろう。しかしな

がら、確率で示された不確実な将来を提示された場合、行政や市民がどう対応・対処すべきか、は地震学だけでは決められないという課題に直面する。ここから先は防災・減災の世界になるのだが、かといって地震学が無関係というわけにはいかないだろう。この問題は川勝(2012)によればトランス・サイエンスと呼ばれ「科学に問うことはできるが、科学だけでは答えを出せない問題群」のことである(原典は小林(2007), 平川(2011)など)。この問題の解決には「科学の民主化」(平川, 2011)が重要であり、科学者だけでなく、関係する住民や施策関係者等が科学者と対等な立場に立った合議による防災・減災対策の決定が必要だということである。本稿ではこの課題には触れる余裕はないが、この課題に地震学会としても何らかの関与を行う必要があるのではないかと感じている。

防災においては“自助・共助・公助”が必要であるとのスローガンがある。自助や公助は既に多くの取組があるだろうが、共助は極めて脆弱な部分である。市民・行政・専門家が、災害に際して“わが町”で地震・津波の被害を少しでも軽減するためにはどうしたらよいか、お互いに知恵を出し合って課題を解決していくことが強く望まれている。このような“わが町の防災”の議論に際しての第一に必要なのが地震・津波(実際には風水害や火山災害等の災害も含む)のメカニズムやその地域における自然災害リスク(ハザード)の正確な理解である。このための情報としてハザードマップが準備されているが、そのようなマップは自然現象の大きさなどについて多くの仮定を置いて作成されたものであり、そこにも多くの不確実性が含まれている。不確実性を無視した対策を立てることは危険なことのようと思われる。このような議論の場に地震・津波の専門家あるいはそれらをよく知っている人が同席していることは市民や行政の参加者も心強いのではないだろうか。必ずしも地震学会員すべてがそのような会議に貢献する必要はないかもしれないが、地震

学会としても地域の活動に少しでも貢献する必要があるのではないだろうか。地道な努力の積み重ねこそが地震学の社会からの信頼を得ることにつながっていくのではないかと考えている。

謝辞

本稿の執筆にあたっては、2011年から2012年頃の理事会や臨時委員会での議論の経過を整理するために、日本地震学会事務局の方に理事会議事録等の資料をお送りいただくなどのご協力をいただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 平川秀幸, 2011, 3.11以降の科学技術コミュニケーションの課題—日本版「信頼の危機」とその応答, 菊池誠也編「もうダメされないための「科学」講義」所収, 光文社新書, 151-209.
- 科学技術・学術審議会, 2012, 東日本大震災を踏まえた今後の科学技術・学術政策の在り方について(中間まとめ), 56pp.
- 川勝均, 2012, トランスサイエンスとしての地震予知・長期予測, 日本地震学会モノグラフ, No.1, 53-54.
- 小林傳司, 2007, トランス・サイエンスの時代—科学技術と社会をつなぐ—, NTT出版, 288pp.
- 公益社団法人日本地震学会, 2012, 日本地震学会モノグラフ「地震学の今を問う」, 171pp.
- 文部科学省, 平成24年版科学技術白書 強くたくましい社会の構築に向けて～東日本大震災の教訓を踏まえて～, 304pp, 2012 (http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/hp_aa201201/1310970.htm)
- 日本地震学会理事会, 2012, 日本地震学会の改革に向けて: 行動計画 2012, 1-8.
- 大木聖子, 2012, 地震学のアウトリーチ—社会との信頼の構築—, 日本地震学会モノグラフ, No.1, 113-117.
- 鷲谷威, 2012, 地震学への提言—臨時委員会における議論の総括—, 日本地震学会モノグラフ, No.1, 121-124.

臨時情報におけるスロー地震の活用について

東京大学地震研究所 小原一成

臨時情報は等身大の地震学の知見を社会に生かすひとつの適用例と位置付けられる。しかし、地震学の知見が限られていることや、決定論的な地震予知は不可能であることを踏まえると、その活用の仕方は容易ではない。特に、スロー地震を発出基準とする臨時情報はその評価方法だけでなく、大地震との関係性に関する科学的理解もまだ十分ではないため、スロー地震が地下で何かが起きている重要なメッセージであることを周知した上で、改めて日頃の備えを再点検するきっかけとして活用することが適切であろう。

1. はじめに

南海トラフで巨大地震の発生可能性が普段と比べて高まったと評価された場合、気象庁は南海トラフ地震臨時情報（巨大地震注意）を発出する（気象庁，2024）。この発出基準の一つに「通常と異なるゆっくりすべりが発生したと評価した場合」があるが、これに関してはまだ定量的な評価基準は設定されていない。また、ゆっくりすべりによって発出される臨時情報は、半割れや一部割れによるものと比べると科学的理解はもとより、情報の受け手側の対応の仕方が不明確であり、その取扱いについてはさらなる議論が必要であると感じる。本稿は、臨時情報に「スロー地震」を活用するうえで今後研究者がなすべきこと、さらに臨時情報に限らず「スロー地震」の情報を災害軽減にどのように活用するかについて私見を述べたい。

2. 「通常と異なるゆっくりすべり」と「通常と異なるスロー地震」

2-1. 臨時情報における「通常と異なるゆっくりすべり」の定義

臨時情報の発出基準とされている「通常と異なるゆっくりすべり」に関して、気象庁のホームページには次の通り記載されている（気象庁，2024）（※なお①～③は本稿のために追記した）。

①「ひずみ観測において捉えられる、従来から観測されている短期的ゆっくりすべりとは異なる、プレート境界におけるゆっくりすべりを意味します。」

②「南海トラフのプレート境界深部（30～40 km）では数ヶ月から1年程度の間隔で、数日～1週間程度かけてゆっくりとすべる現象が繰り返し発生しており、東海地域、紀伊半島、四国地方のひずみ計でこれらに伴う変化が観測されています。このような従来から観測されているものとは異なる場所でゆっくりすべりが観測された場合や、同じような場所であっても、変化の速さや規模が大きいなど発生様式が従来から観測されているものと異なるゆっくりすべりが観測された場合には、プレートの固着状況に変化があった可能性が考えられることから、南海トラフ地震との関連

性についての調査を開始します。」

③「なお、数ヶ月から数年間継続するようなゆっくりすべり（長期的ゆっくりすべり）の場合はその変化速度が小さく、短期的にプレート境界の固着状態が変化するようなものではないことから、本ケースの対象としません。」

2-2. 「スロー地震」との関係

このうち、①の中の「従来から観測されている短期的ゆっくりすべり」は、②の中の「南海トラフ・・・（途中略）このような従来から観測されているもの」と同じく、2000年ごろから西南日本で検出されてきたスロー地震の一部である「短期的スロースリップイベント」（以降、「短期的SSE」と呼ぶ）を指している。スロー地震とは、通常の地震に比べ断層のずれ方が遅い現象の総称であり、短期的SSEのほか、微弱でゆっくりした地震動を生じる低周波微動など、複数種類の現象から構成される（小原，2009）。短期的SSEは断層すべりの継続時間が数日から1週間程度であり、豊後水道や東海で半年から数年も継続する「長期的SSE」（③の「長期的ゆっくりすべり」のこと）と比較して短いことを意味している。

2-3. 前駆すべり

①では、「通常と異なるゆっくりすべり」が短期的SSEと異なることを言っているが、では何をイメージすればよいのだろうか。恐らく、東海地震の警戒宣言の根拠となった前駆すべりが考えられるであろう。しかし、実験や理論では前駆すべりが加速して大地震の高速すべりに発展することがあるものの、実際に観測されたことはまだない。前例がないという意味では、前駆すべりはまさに「通常と異なる活動」と言えるが、これに関しては本稿ではこれ以上は言及しない。

2-4. 「通常と異なるスロー地震」の定義

②では、従来から知られている短期的SSEが「通常と異なるゆっくりすべり」と見なせる可能性を示している。つまり、従来と異なる場所で起きたり（②-1）、従来と同様の場所であっても規模などの活動様式が従来と異なる場合（②-2）である。本稿では、これらを「通常と異なるスロー地震」と定義する。また、③の長期的SSEは臨時情報発出の対象外であるが、短期的SSEの場合

と同様に、従来と異なる場所で起きたり、従来と同様の場所であっても規模などの活動様式が従来と異なる場合には、これらの長期的 SSE も「通常と異なるスロー地震」に含めるものとする。

このうち、②-1 は、発生場所の違いであるため、通常か否かの評価は比較的容易である。②-2 は、スロー地震活動の標準的な特徴を把握できれば、評価は可能であろう。評価項目としては、例えば規模（広がりやすべり量を含む）、発生間隔、活動の起点・終点、断層すべり速度、破壊伝播速度などが挙げられる。

3. 通常と異なるスロー地震の評価の観点

通常と異なるスロー地震を評価するうえで、もともとの目的が南海トラフ巨大地震の切迫度の評価であるため、Obara and Kato (2016)によって指摘されたスロー地震と大地震との関連性を踏まえると、次の三つの観点が挙げられる。

3-1. 応力転荷 (Stress transfer)

スロー地震は、巨大地震震源域に隣接した同一のプレート境界面上で、同一の逆断層すべりのメカニズムで発生するため、スロー地震による応力再配分が大地震の発生を促進する可能性がある。このような応力転荷による直接的な影響により、Cascadia では SSE 期間中の大地震発生可能性が他の期間の数 10 倍にも達するという試算結果もある (Mazzotti and Adams, 2004)。また、東北地方太平洋沖地震直前の前震活動期間中に SSE が本震の破壊開始点に向かって二度も移動したことも、応力転荷により本震発生を促進させた可能性がある (Kato et al., 2012)。もちろん、再配分される応力は非常に微弱であり、予め震源域の応力が臨界状態でない限り誘発されることはまずない。なお、ここで注意しなければならないことは、通常のスロー地震であっても大地震の発生可能性を相対的に高めるということである。

3-2. 応力指標 (Stress meter)

スロー地震は、遠地地震表面波や地球潮汐など周囲の応力変化に対して敏感に反応するため、隣接する大地震震源域内の応力集中の影響によりスロー地震の活動様式が変化する可能性がある。つまり、スロー地震活動の変化が大地震の切迫度を反映する指標として活用できる可能性がある。例えば、サンアンドレアス断層沿いのパークフィールドでは、M6 の本震発生の数日前から低周波微動が活発化したり (Nadeau and Guilhem, 2009)、移動パターンの変化が報告されており (Shelly, 2010)、大地震発生直前の応力状態を反映して通常と異なるスロー地震活動が生じた可能性がある。また、巨大地震とスロー地震を対象としたシミュレーション研究では、巨大地震の発生時期に近づくにしたがって短期的及び長期的 SSE の発生間隔が短くなるという結果もある (Matsuzawa

et al., 2010)。したがって、スロー地震の活動様式を多項目でモニタリングすることは、通常か否かを評価するうえで重要である。

3-3. すべり指標 (Creep meter)

スロー地震は、小繰り返し地震と同様にプレート間すべりを反映する指標として活用できる可能性がある。例えば、東北地方太平洋沖地震前後における日本海溝付近の超低周波地震 (VLF) 活動の推移をみると、本震の大すべり域では本震後に活動が静穏化したのに対して、その周囲の余効すべり域では活発化しており、プレート間すべりを忠実に反映したものと考えられる (Baba et al., 2020)。このように、プレート境界の固着とすべり状況の指標としてスロー地震のモニタリングは重要である。

4. 通常と異なるスロー地震の評価

通常と異なるスロー地震の評価対象としては、様々なスロー地震の中ではプレート境界の大規模なすべりそのものである SSE が最も重要であろう。3章の応力転荷の観点では、SSE の規模が評価項目として挙げられる。

4-1. SSE の規模の評価について

SSE の規模を評価するにあたり、個々の SSE の規模に着目する場合と、発生時系列も考慮した積算規模の時間変化に着目する場合の二通りが考えられる。前者は、これまでのモニタリング結果に基づいて調べられた最大規模を超えたかどうかの評価の基準になると思われる。このとき、小規模 SSE は評価対象外となるが、それで問題ないだろうか。もし、プレート境界における固着状態の変化の把握が重要だとすると、大規模 SSE だけでなく小規模 SSE も含めてプレート間のすべり推移を長期にわたってモニタリングすることが適切であると思われる。その意味では、後者の積算規模レートの把握が重要であろう。

4-2. SSE 規模積算レート評価に対する地震学的スロー地震の活用

短期的 SSE は、深部低周波微動や深部 VLF と時空間的に同期して発生することが知られており、Episodic Tremor and Slip (ETS) と呼ばれる (Rogers and Dragert, 2003)。したがって、短期的 SSE を評価する際には、これらの地震学的スロー地震も活用可能である。傾斜計やひずみ計、GNSS などで短期的 SSE を捉えた場合は地殻変動現象として断層パラメータ推定が可能であるが、それは比較的大規模な SSE に限られるため、中小規模の SSE まで評価が必要な場合は、地震学的スロー地震を活用する必要がある。短期的 SSE のモーメントと同一エピソード内に発生した一連の低周波微動の積算数や継続時間は概ね比例関係にあることが知られている (Obara, 2010; Aguiar et al., 2009) が、実際に地震学的スロー地震から

短期的 SSE の規模を定量的に評価する場合には、地震学的スロー地震の個々のエネルギーやモーメントを正確に推定し、同一エピソード内でのそれらの積算量と、SSE の測地学的モーメントとの変換係数を予め推定しておく必要がある。また、その変換係数が地域依存性を有することも考慮しつつ、SSE の測地学的実測量と地震学的スロー地震からの変換量を総合して、ダイナミックレンジの広い評価を行うことが望ましい。

4-3. SSE 積算規模レートに基づく評価

ここでは、地震学的スロー地震も活用した総合的な短期的 SSE、及び長期的 SSE の積算規模の時間変化を評価対象とする場合を考える。もし、同規模の SSE が既知の一定間隔で発生する場合を通常のスロー地震活動と見なすと、スロー地震の積算規模レートはある一定の値を示し、大地震震源域に対する影響は定常的なものとみなすことができる。これはタイムプレディクタブルモデルあるいはスリッププレディクタブルモデルに従う場合も同様である。一方、発生間隔や規模が不規則に変化した場合、積算規模レートの傾きが変化し、大地震震源域に対しては通常と異なる影響を及ぼす可能性がある。その意味で、通常と異なるスロー地震が発生した場合は、大地震発生可能性が通常と異なる状況になったと言える。なお、積算規模レートの変化を認識するには通常の発生間隔の数倍の期間は必要であろう。数か月の発生間隔を有する短期的 SSE については、通常性の変化を認識できるまで数年の期間が必要であり、長期的 SSE の場合も同様のことが言える。このように、スロー地震を活用した大地震の切迫度に関する情報は、長い時間スケールで評価されたものであることを、情報の発信側と受け手側の双方が理解しておくことが必要であろう。

5. 通常と異なるスロー地震の評価の課題

5-1. 地震学的スロー地震の活用に関する課題

これまでのスロー地震観測研究に基づくところ、ETS を構成する三つの現象はそれぞれ空間的不均質性を有するとともに、現象間の関係性は必ずしも一定ではなく不均質性を示している。例えば、伊勢湾は低周波微動が起きないギャップとして知られているが、短期的 SSE は起きており (Obara and Sekine, 2009)、伊勢湾を挟む紀伊半島側と東海側における積算すべり量とほぼ同程度である (Nishimura et al., 2013)。また、四国中西部における短期的 SSE の推定精度が向上した結果、同一の ETS エピソード内で短期的 SSE のすべり分布と深部低周波微動分布がそれぞれ棲み分けている事例がしばしば観測されており (気象庁, 2022)、これらの場所では低周波微動などの地震学的スロー地震から短期的 SSE の規模を評価することは難しい。したがって、これらのスロー地震のモニタリング精度を向上させようとして、以上

の空間的不均質性も考慮しつつ、地震学的スロー地震と SSE との変換係数を地域ごとに推定し、通常性の評価を行うことが必要である。

5-2. 応力・すべり指標の観点による評価項目

応力指標の観点では、スロー地震活動様式のあらゆる項目が評価対象となり得る。先に述べた項目以外でも、各エピソードにおける地震学的スロー地震の規模別頻度分布、低周波微動と VLF の規模の比、あるいはエピソード以外の期間の背景的活動の変化も評価対象になるかもしれない。いずれも、大地震との関連性における物理的根拠は十分ではなく、観測やモデルの両面からその可能性を検証する必要があるが、そのためにも各スロー地震現象に対する検知能力を向上させようとして詳細なカタログを構築し、活動様式を様々な角度からモニタリングし、特徴を抽出していく必要がある。

すべり指標の観点では、低周波微動や VLF の活動度が周囲のプレート境界すべりを反映するため、海陸を含めた広範囲にわたって検知能力を高めたうえで、個々のイベントの規模を定量的に評価することが必要である。

5-3. セグメント定義の課題

通常と異なるスロー地震を評価するうえで、評価対象となる空間範囲、すなわちセグメントをあらかじめ設定する必要がある。スロー地震の多くは走向方向に活動度が変化するため、それに基づいてセグメント分けを定義することになるが、すでに述べたように各スロー地震間の関係性にも地域依存性があるほか、スロー地震の規模に応じて通常セグメント内で活動域がさらに分割したり複数セグメントに連動するなどの階層構造を示すため、セグメント分けも単純ではない。さらに、深部低周波微動は幅の狭いプレート傾斜方向でも活動様式が変化するため (Obara et al., 2010)、場合によっては深さ依存性を考慮するなど、評価項目に応じたセグメント定義の検討が必要であろう。

6. スロー地震を起動とする情報発信の在り方に関する提案

6-1. 日頃の備えを再点検するきっかけ情報

スロー地震は数か月から数年の間隔で発生する現象であり、その発生によってわずかでも大地震発生の可能性が相対的に高まる。これは、通常と異なるスロー地震であっても通常のスロー地震であっても同じであり、その点では両者を区別することはあまり意味がない。もちろん、通常と異なるスロー地震が起きた場合は、大地震震源域に対して通常と異なる影響が及ぶものと考えられるが、具体的にどうなるかは良く分からないため、用心するしかない。いずれにしても、スロー地震が起きた場合は、臨時情報が発出されるか否かに関わらず、日頃の備え

を再点検してもらうきっかけ情報として活用するのが望ましい。数か月から数年に一度のことであれば、それほど負担にはならないし、何よりも実際に地下で何かが生じているという臨場感を共有することが重要であろう。

6-2. 長い視点での切迫度情報

スロー地震は種類によって時定数が異なるため、それぞれの時定数に応じた時間スケールで通常のか否かの判断を行うべきであろう。臨時情報を数時間以内に発出する必要があるのであれば、その時間スケールに収まる現象の変化に基づいた評価しか行えないことを十分に認識する必要がある。先に述べた SSE 積算規模レートのような長期間にわたるスロー地震活動のモニタリングは、プレート境界の固着の状況とそれに基づく大地震の切迫度を評価するうえで重要であるが、数年スケールで徐々に変化するものと考えられるため、例えば1年あるいは数年に1回の情報発信でも良いかもしれない。もしくは、スロー地震が起きた際の情報発信に付加し、日頃の備えの再点検を呼びかけると同時に、長い視点での切迫度の変化についてもそれとなく伝えるのが適切であろう。

参考文献

- Aguiar, A. C., T. I. Melbourne, and C. W. Scrivener, 2009, Moment release rate of Cascadia tremor constrained by GPS, *J. Geophys. Res.*, **114**, doi:10.1029/2008JB005909.
- Baba, S., A. Takeo, K. Obara, T. Matsuzawa and T. Maeda, 2020, Comprehensive detection of very low frequency earthquakes off the Hokkaido and Tohoku Pacific coasts, northeastern Japan, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, **125**, <https://doi.org/10.1029/2019JB017988>.
- Kato, A., K. Obara, T. Igarashi, H. Tsuruoka, S. Nakagawa and N. Hirata, 2012, Propagation of Slow Slip Leading Up to the 2011Mw 9.0 Tohoku-Oki Earthquake, *Science*, **335**, 6069, 705, <https://www.science.org/doi/full/10.1126/science.1215141>.
- 気象庁, 2022, 南海トラフ地震関連解説情報について—最近の南海トラフ周辺の地殻活動—(令和4年5月11日), <https://www.jma.go.jp/jma/press/2205/11a/mate01.pdf>.
- 気象庁, 2024, 南海トラフ地震に関連する情報の種類と発表条件, https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/nteq/info_criterion.html.
- Matsuzawa, T., H. Hirose, B. Shibazaki, and K. Obara, 2010, Modeling short- and long-term slow slip events in the seismic cycles of large subduction earthquakes, *J. Geophys. Res.*, **115**, B12301, doi:10.1029/2010JB007566.
- Mazzotti, S., and J. Adams, 2004, Variability of near-term probability for the next great earthquake on the Cascadia subduction zone, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **94**, 1954–1959, <https://doi.org/10.1785/012004032>.
- Nadeau, R.M. and A. Guilhem, 2009, Nonvolcanic tremor evolution and the San Simeon and Parkfield, California, Earthquakes, *Science* **325**, 191–193.
- Nishimura, T., T. Matsuzawa and K. Obara, 2013, Detection of short-term slow slip events along the Nankai Trough, southwest Japan, using GNSS data, *J. Geophys. Res.*, **118**, 3112-3125.
- 小原一成, 2009, フィリピン海プレート沈み込みに伴う西南日本のスロー地震群の発見, *地震* **2**, **61**, S315-S327.
- Obara, K., 2010, Phenomenology of deep slow earthquake family in southwest Japan: Spatiotemporal characteristics and segmentation, *J. Geophys. Res.*, **115**, B00A25, doi:10.1029/2008JB006048.
- Obara, K., and S. Sekine, 2009, Characteristic activity and migration of episodic tremor and slow-slip events in central Japan, *Earth Planets Space*, **61**, 853-862.
- Obara, K., and A. Kato, 2016, Connecting slow earthquakes to huge earthquakes, *Science*, **353**, (6296), 253-257, <https://www.science.org/doi/full/10.1126/science.aaf1512>.
- Obara, K., T. Maeda, S. Tanaka and T. Matsuzawa, 2010, Depth-dependent activity of non-volcanic tremor in southwest Japan, *Geophys. Res. Lett.*, **37**, L13306, doi:10.1029/2010GL043679.
- Rogers, G., and H. Dragert, 2003, Episodic tremor and slip on the Cascadia subduction zone: The chatter of silent slip, *Science*, **300**, 1942-1943.
- Shelly, D.R., 2010, Migrating tremors illuminate complex deformation beneath the seismogenic San Andreas fault, *Nature*, **463**, 648–652.

実学としての地象学

東田進也

気象学ではその予測対象となる時間軸によって長期予報、短期予報、ナウキャストと言う区分があるが、それらを混然一体として分野を形づくってきた。一方、緊急地震速報は地震予知とは別物であると真剣に語る人は多いことから分かる通り、地震学では長期予測と短期予測、ナウキャスト、そしてそれらの社会への適用はすべて別分野として認識されている。私は、今後地震学には $t=0$ を作らない、「断層は（停止も含め）常にずれている」という時間軸を持った場の概念が必要なのだと思う。断層がずれること、あるいは流体の上昇等に伴う応力や間隙水圧等の変化を常時モニターして描画すること、そして断層が高速でずれた際に生ずる揺れや津波の伝搬を時々刻々伝えることを一緒に取り扱うのである。もし、それが地震学に荷が重いのであれば、私はそれを地象学と呼べばよいと思う。

1. はじめに

先日、「等身大の地震学をどう社会に役立てるか」と言うテーマで何か書いてほしいと学会から依頼があった。先年、我々は、等身大の地震学（と考えて）の周知啓発を行った際に批判を受けた経験があったことから若干複雑な思いもあったが、個人の立場で書く随筆で構わないとのこと。今の私の頭の中を書き残しておくことも今回の、あるいは地震学会の今後についての議論のきっかけの一つになるのではないかと思い、お引き受けすることにした。

2. 地震学の歴史の変遷と気象学の歩み

端から恐縮だが、「等身大の地震学をどう社会に役立てるか」という言い方には、個人的には違和感がぬぐえない。何故なら社会の側の多くの方は、地震学は須らく社会に役立つものだ、と素朴に信じているからだ。自分の親戚（親兄弟よりは、ちょっと離れた親戚ぐらいが良いかもしれない）に、自分の専門は地震学である、と話す機会があれば、容易にこの事実に気が付くと思う。地震学会に所属する研究者の中には、そういう時は多少感情的に、「純粋な」科学的興味の重要性について語ろうとする方もいるかもしれない。あるいは語らずとも、このギャップへの居心地の悪さを体験している方は少なくないと思う。しかし、そうであっても、「だから、困るんだよね」と研究者が思ってしまう風潮は、私は何かがおかしいのだと思っている。

私の主張に接している方には、また始まったと思われてしまう話を繰り返すことを寛恕いただきたい。1880年の横浜地震を契機に、世界で初めての地震学会（第一期）が日本で創設されたことはご存じの方も多いと思う。創設時の会の冒頭にジョン・ミルンは「地震学総説」と言うタイトルで講演を行った。彼はその講演を結ぶにあたって、電気通信を使った（今でいうところの）遠地津波警報と緊急地震速報（ただし、彼はこれを地震前知と呼んでいる）のアイディアを例示し、「日本の如きは地震火山に富むこと世界中屈指の国

なるのみならず、理学に熱心なる人もまた少なからず。而して余輩幸いにこの国に住すれば、拮据黽勉地震を研究し、以って地震学の蘊奥を究極せんと欲す。若しこれを究極するに至らば、竟に此人類をして彼の不測の災厄より救済し、遂に其の安居を得せしめんこと決して難きに非ざるなり。是れ余が諸君に向て最も希望するところなり」と述べている。

その後、地震学会（第一期）が自然消滅し、濃尾地震の被害を受けて新たに創設された震災予防調査会も、その事業目的について、「地震の災害を予防する事ができる手段の調査」にあると述べたうえで、「一面に於ては地震を予知する方法があるのか否か」を調査し、「一面に於ては地震が起こった際にその災害を最少にする計画」を作ることを事業とした。また、これを実現するうえで、「調査事業の一部分はもっぱら理学に関し、一部分は主として工学に関係するが、両者の間には緊密な関係があり、分離すべきではない」と言うポリシーを持っていたと言う。少なくとも当時は、地震学とは理学と工学が混然一体となって、社会に役立つことを夢見て形づくられたのだと思う。

ほとぼしするような熱意で進められた初期の研究は、悲惨な地震災害を事前に予知してほしいという社会の期待とその反動としての批判、思うように進まない現象の解明の間で、挫折を繰り返すことになる。地震現象は地下で発生するばかりか大規模な地震は発生頻度が低く、さらには地震波の伝搬速度も相対的に速く、当時としては測定や解析が難しかったことから、刻時精度やデータ伝送、計算機の能力が不十分だった1960年代までは研究を進めるにあたって様々な難しさがあった（この「難しさ」の本質は今でも変わらないかもしれない）。また、繰り返す地震災害と社会からの非難に研究者が集団として狼狽し、費をつくり、社会との対峙を避けようとしたことも少なくない。一部の研究者による関東地震後の大森地震学批判や地震予知研究からの韜晦、その後の物理学への傾倒、プレートテクトニクスを受容におけ

る遅滞などは、その証左ではなかろうか。現在もなお、油断をすると「人の命を助ける為に研究しているわけではない」、「自分の興味があることを研究してきたらいつの間にか責任がついてきてしまった」等と、地震学がすぐさま社会に役に立つものではないことを声高に話すこと「こそ」が等身大の地震学を語ることでありと考えてしまう事態が容易に起きてしまう。社会との対峙を避ける風潮に個人的には関心はないが、地震学が社会との対峙を避けた場合は、応分の扱いを甘受する必要もあろう。

一方、同様に社会からの期待と批判を日常的に受けた気象学はどうだったか。もちろん気象現象は大部分が可視光でとらえられる現象であり、かつ現象の周期性が比較的短く、検証や再解析が容易であったという点において地震学と比べて強みは厳然としてあるが、彼らとて prediction という語の含意を嫌って forecast と呼び変えたり、自然条件の厳しい観測現場や警報が外れた際の社会とのトラブルによって身内から少なくない犠牲者を出したりしつつ、集団として実学たる天気予報事業を設計してきた。測器や解析技術ばかりでなく、通信事業、研修制度、学校、研究所、業界を行政組織として泣きながら創ってきたのだ。気象学には扱う時間軸の差から長期予報、短期予報、ナウキャストと言う区分があるが、それらを混然一体として学問分野を形づくってきたという見方もできる。緊急地震速報は地震予知とは異なると、それはそれは真剣に語る人は多いが、地震学では長期予報、短期予報、ナウキャスト、そしてそれらを社会に適用することはすべて別物であるという認識している人がほとんどではないだろうか。

以下、さらに個人的な話でまったく恐縮だが、私の遠い先輩に中谷宇吉郎がいる。彼の愛すべき師であった寺田寅彦は、「不思議だと思いませんか」、「一番大切なのは、役に立つことだよ」と宇吉郎に繰り返し語りかけたという。そこに役に立つ立たないという観点で二元化される科学の姿はないように見える。地震学は、古くは固体地球物理学全般を包含する概念を持っていたはずだが、社会との関わり、特に、一方的に託される期待と批判の中で、地震学的に観測可能な「 $0 \leq t \leq$ 波形の減衰まで」の現象を物理的に記載するという分野に純化する歴史をたどったのかもしれない。私は、今後地震学に必要なことは、 $t=0$ を作らない「断層は(停止も含めて)常にずれている」という明確に時間軸を持つ概念だと思う。これはいわば、写真を撮る分野から動画を録る分野になることを企図しているのかもしれない。もし、それが地震学に荷が重いのであれば、やや古臭い用語

ではあるが、私はそれを地象学と呼べばよいと勝手に思っている。

3. 純化した地震学から実学としての地象学へ

地震学が地震前知として夢見た緊急地震速報は、通信とコンピュータの技術発展に伴い、2007年に実現した。さらに、学問的には1990年代には当たり前のこととされた「マグニチュードは成長する」という時空間の概念や、断層のずれには多様性があり、断層は有限の時間をかけてずれるものだという概念を具現化した。別の言い方をすれば、「地震現象は一瞬で終了し、その結果を出るだけ早く教えればよい」と言う古くからの概念は、現在書き換えられつつあるように思う¹。今後は、断層のずれ速度は、極限としてのゼロから、人が感じる地震動を励起するところまで連続的に変化するもので、ずれによって周辺に与える応力の効率、ずれを進行させたり停止させたりする場をオンラインリアルタイムで監視しつつ、一旦、ずれ速度が増加した際にそこから生まれる、強震動や長周期地震動、津波の伝搬を時々刻々予測するシステムを創ることが、実学分野として一体的に行われることを私は念願している。

ただし、純化してしまった地震学が想像するよりはこれは骨の折れる事業かもしれない。震源を決める、あるいは断層のずれをリアルタイム監視するだけでも、いざ実用化しようとする、不断の観測、一生かかるほどの開発や試行錯誤、開発環境、組織、資金、既存社会との調整、概念啓発等々が必要であるのだから(東田, 2014)。

4. 補遺【2024. 1. 2 追記】

今般の令和6年能登半島地震で亡くなった方、被害に遭われた方にお悔やみ、お見舞いをお伝えいたします。被災地出身者の一人として今、思うのは、我々は、地震が発生する前、あるいは発生直後に社会に対して直接役立つことは多くはない、あるいは地震学は人を救うものではないと勝手に思っただけではないということです。必ずしも最先端の科学を語らなくても、地震は震源と言う点で起こるものではなく、断層が有限の時間をかけて面でずれるものだという概念と、実際にその上には生身の人間が住んでいるのだという状況を「有機的に結び付けて考える」だけでも、多くの人を救うことになるのだと私は信じています。

参考文献

東田進也, 2014, リアルタイムモニタリングシステムの構築—地象監視予測システムの過去・現在・未来—, 地震予知連会報, **92**, 399-405.

¹ 「震源は〇〇沖, Mは8.2, 断層は200km×100kmの広さであって、ずれには57秒かかった」から「〇〇沖を震源として

ずれ始めた断層は57秒かけて200km×100kmの広さまでずれ広がり, Mは8.2になった」という概念, パラダイムの変化。

「わかりにくい」地震の予測情報にいたる経緯

名古屋大学環境学研究科 山岡耕春

近年、地震の予測に関する情報発表の仕組みが整えられたものの、情報そのものは「わかりにくい」ともっぱらの評判である。比較的規模の大きな地震が観測された場合には、気象庁から今後の地震活動の見通しが報道発表される。また南海トラフ地震については、「南海トラフ臨時情報」が発表されることになっている。さらに三陸北部から北海道にかけての太平洋沿岸でM7以上の地震が発生した場合にも、「北海道・三陸沖後発地震注意情報」が発表されることになった。かつての東海地震の予知情報のような「わかりやすい」情報から、現在の「わかりにくい」情報が発表されるに至った経緯について、科学的背景も含めて振り返る。

1. はじめに

台風進路など気象予報は目を見張る精度向上があり、いわゆる防災タイムラインに代表されるように、かなりの確実性を持って準備を進められるようになってきた。それに対し、地震に対しては「いつ起きてもおかしくない」と想定して普段から備え、地震発生時にいち早く対応をするしかないのが現状である。このような現状に対し、前もって特別な備えをするために、地震発生予測に対する需要は常に存在する。かつては、1978年に制定された大規模地震特別措置法（大震法）により、東海地震発生を数日前に予知するための観測・監視体制と、警戒宣言によって一斉に急応対を始める仕組みが運用されていた。この仕組みは行政や一般国民からみると手順が明快でわかりやすいものであったが、大震法で想定されているような精度の高い地震予知が困難なことが学術的に明らかになり、地震の予測に関する情報が見直されることとなった。

そのような中、中央防災会議のワーキンググループは確度の高い地震の予測は困難とし、南海トラフの一部ないし半分が震源域となったなどの場合、南海トラフ沿いでさらなる巨大地震を引き起こす可能性のあるとした情報を発表することを提言した。これを受けて気象庁は、2017年11月、予知情報など東海地震のみに着目した「東海地震に関連する情報」は発表しないことに決定した。その結果、東海地震に関する警戒宣言は事実上発表されないことになった。それに代わり、南海トラフ全域に対して、マグニチュード8クラスの巨大地震発生可能性が普段よりも高まったと判断された場合に「南海トラフ地震臨時情報」を出すことにした。しかし、この情報は統計的に見ると、情報が発表されてから1週間の警戒期間に地震が発生する確率は1～10%程度と不確実な情報である。情報を出す価値があるのかさえも疑われそうな低確率であり、わかりにくい。しかし、2022年には三陸北部から北海道の日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震についても、「北海道・三陸沖後発地震注意情報」が発表されることとなり、わかりにくい情報が追加された。

本論では、このような情報を発表するに至った経緯について、整理して振り返ることを目的とする。

2. 2009年L'Aquila地震と国際委員会

背景としてまず触れておかなければならないのは、2009年にイタリア・ラクイラで発生した地震にまつわる騒動である。ラクイラでは2009年1月から群発地震活動が活発化したため、地元住民に不安が広がっていた。そのような中で、地元の物理学者がラドンの観測に基づき個人的な地震予知情報を発表し、メディアで取り上げられるに至った。この地震予知情報に対し、公的組織が反応した。防災局（DPC = Dipartimento della Protezione Civile）とイタリア火山地球物理研究所（INGV = Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia）は、地震学の知見に基づいて、a) 信頼できる地震予知手法は見つかっていないこと、b) ラクイラで発生しているような群発地震はイタリアでは珍しくないこと、c) 大地震の発生確率は低いことを述べた。イタリア国家防災会議（GCR = Commissione Nazionale per la Prevenzione e Previsione dei Grandi Rischi）も「小さなマグニチュードの地震の継続的な発生が大地震の前兆であると言うだけの根拠はない」と発表した。これを受けて政府担当者が「安心」発言をし、メディアもこれを報じたことで屋外避難をしていた住民が安心して家に戻ったところ、4月6日未明3時32分にマグニチュード6.3の地震が発生し、300人以上の住民が死亡する大惨事となった。その後、地震発生の危険を十分に知らせなかったとして、関係する地震学者や政府の担当者が訴えられた。最終的には政府の担当者のみが有罪とされた。DPC、INGV、それにGCRの発表は地震学的には間違っていないが、結果的に人的大災害となったことから、リスクコミュニケーションの点で課題を残したと言える。

この地震の後、イタリア政府が国際委員会を組織し、地元イタリアの他、米国、英国、フランス、ドイツ、ロシア、中国、日本から委員が参加した。筆者は日本の委員として参加した。委員会では地震の予測とその利用についての提言を発表する

と共に、論文として公表した¹⁾。論文では、Key findingsとして地震の予測に関しいくつかの重要なポイントをまとめている。それは、A) 決定論的な地震の予測は未だ不可能であり、確率を用いた情報発表が必要であること、B) 地震や地殻変動などの高品質なモニタリングが必要であること、C) 現時点では地震の警報を出せるだけの信頼できる現象は知られていないものの、地震の予測可能性に関する研究、特にプレート境界のゆっくりとした現象の解明が急務であること、D) 地震の長期予測モデルの改良を進めること、E) 数ヶ月よりも短い期間を想定した地震の予測モデルの改良を進めるとともに、地震が地震をトリガーする確率などについてさらなる研究を進めること、F) 様々な地震予測モデルについて、実際の地震カタログに照らして客観的な評価を行うこと、G) 地震の予測を活用するために、専門家による常設の委員会を設置して、行政など政策決定者にアドバイスを行えるようにしておくこと、である。

この論文は地震の予測を実際に機能させるための提言を述べている。決定論的な地震予測はいまだ困難であり、確率的な地震予測を防災において機能させることが重要であると述べている。また、普段よりも地震発生の確率が高くなる(確率ゲインが大きくなる)現象があるので、それを積極的に使うことと、それでも絶対的な確率は低いことを認識する重要性も述べられている。現在の「南海トラフ地震臨時情報」もまさにこの認識に基づいている。

3. 「南海トラフ地震臨時情報」ができるまで

1978年に始まった東海地震対策は、2003年に見直された。その間に蓄積された地震学的知見や東海地域のプレートテクトニクスに関する知見を取り入れ、東海地震の想定震源域が修正された。強化地域の拡大に加え、自治体の応急対応の準備のために調査情報や注意情報が新設された。この時、その後10年間東海地震が発生しなかった場合には南海トラフ全域での巨大地震発生を想定した対策を検討するとしていた²⁾。

その10年を迎える直前の2011年に東北地方太平洋沖地震(M9.0)が発生した。この地震による大災害をうけて、国の中央防災会議では「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」(座長：河田恵昭 関西大学社会安全研究科長・社会安全学部長・教授)を組織して議論を行い、対策が可能かどうかにかかわらず科学的に考えられる最大クラスの地震を想定することとした。そのため、南海トラフについても、想定すべき最大クラスの震源モデルについて検討が行われることになった。検討は2011年8月28日に設置された「南海トラフの巨大地震

モデル検討会」(座長：阿部勝征 東京大学名誉教授)によって行われた。その結果、マグニチュード9クラスの超巨大地震を想定することとなった。そのため、静岡県・三重県・和歌山県・高知県など太平洋に直接面した地域では想定される津波の高さが従来の2倍から3倍となり、それぞれの地域では従来の津波対策を大幅に見直すことになった。

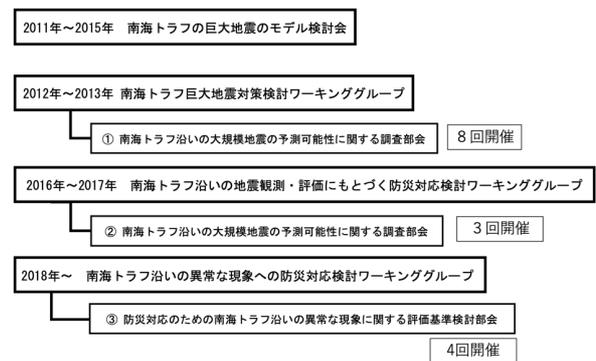


図1 東北地方太平洋沖地震以降に内閣府に設置された南海トラフ関連の検討会等

この見直しの中で、内閣府は東海地震対策も見直すことにした。関係する会議について図1に示す。まず地震予知の可能性を検討するため、すでに組織されていた「南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ」(主査：河田恵昭 関西大学社会安全学部・社会安全研究センター理事・センター長・教授)のもとに「南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性に関する調査部会」(座長：山岡耕春 名古屋大学大学院環境学研究科・教授)(以下、調査部会と言う)が2012年に組織された。この調査部会では、とくに使用法が混乱している地震の「予知」と「予測」の言葉の使い方を整理した。「予知」は、ほぼ確実に地震を予測する意味とし、基本的に「予測」という表現を用いることにした。調査部会は、2013年5月28日に「確度の高い地震予測は困難である」とした報告書を公表したが、すぐには東海地震対策の見直しは行われなかった。これは、内閣府において「南海トラフの巨大地震モデル検討会」の会合が継続され、長周期地震動などの検討が行われていたためと考えられる。東海地震予知による応急対応の見直しの議論よりも、地震対策見直しの優先順位が高かったためであろう。

大震法に基づく東海地震対策の議論は、2016年9月に「南海トラフ沿いの地震観測・評価にもとづく防災対応検討ワーキンググループ」(主査：平田直 東京大学地震研究所地震予知研究センター長・教授)(以下ワーキンググループと言う)が組織されてから始まった。すでに作業部会の報告から3年余りが経過していたため、この間の地

震に関する知見を加えて地震の予測に関する科学的知見を整理する目的で、ワーキンググループの下に改めて同名の作業部会（座長：山岡耕春 名古屋大学環境学研究科・教授）が設置された。作業部会の会合は 3 回開催され、報告の骨子は 2016 年 11 月 26 日に開催されたワーキンググループ会合に報告された。

作業部会の報告概要は以下の通りである。(1) 南海トラフで発生する地震の規模は「多様」であり、駿河湾から四国沖にかけて複数の領域で同時または時間差をおいて発生する可能性があるが、次の地震の規模や震源域を前もって知ることは困難である。(2) 東海地震の前兆とされてきたプレート境界の前駆滑りについては、発生する可能性は認められるものの、それをもって確実な予測を行うことは難しい。(3) 南海トラフ域において観測されるプレート境界のスロースリップが発生している時期は、そうでない時期に比べて地震発生の可能性が高いと見なすことができる。(4) いずれの場合にも確度の高い地震発生予測は困難である。これらが作業部会の結論となった。またこの作業部会の報告書には、「警戒宣言後に実施される現行の地震防災応急対策が前提としている確度の高い地震の予測はできないのが現状」という注目される表現が書き込まれた。これをもって、東海地震のみに着目した「東海地震に関連する情報」は発表しないことにつながった。

2013 年の調査部会報告では、普段よりは地震が発生しやすくなると言えるとしているものの、どの程度の確率になるかについては触れられていない。2016 年の調査部会では、このような点も踏まえ、具体的に以下の 4 つのケースについて具体的な数字が添えられている。

(1) 南海トラフ全域が震源域とならずに M8 クラスの巨大地震が発生した場合（半割れケース）。作業部会では、世界中のプレート境界型の地震を調査し、1900 年以降に発生したマグニチュード 8.0 以上の地震 96 事例のうち、3 日以内に同程度以上の地震が発生した事例が 10 事例あるとした。さらに、地震発生後一週間を過ぎても長期間にわたり地震が発生しやすい状況が続くことも留意事項とした。

(2) 一回り小さな M7 クラスの地震がプレート境界で発生した場合（一部割れケース）。2011 年東北地方太平洋沖地震発生後の 2 日前に発生した M7.5 の地震のように、南海トラフにおいても M7 クラスの地震が巨大地震を誘発する可能性がある。1900 年以降に世界中の海溝沿いで発生した M7.0 以上の地震 1368 事例のうち、7 日以内に同じ領域で同規模以上の地震発生が 24 事例あったとした。

(3) 地殻変動や地震活動に異常が見つかった場合。このような異常は、中期的な地震発生の危険

度の高まりを評価することに役立つものの、数日間の地震発生を予測する「直前予知」には役立たないとされた。

(4) 非常に大きなスロースリップが南海トラフで発生した場合。この場合は、大規模地震発生の可能性が非常に高まっていると判断できるものの、過去に経験がないことから地震発生確率を定量的に評価することはできない。

この報告を受け、気象庁は 2017 年 11 月 1 日以降、東海地震の予知関連情報の発表を行わないことに決定した。それに代わり、南海トラフ域全域に対して、「南海トラフ地震臨時情報」を発表することとなった。上記 (1) のケースに対しては「南海トラフ地震臨時情報（巨大地震警戒）」を、

(2) と (4) のケースに対しては、「南海トラフ地震臨時情報（巨大地震注意）」を発表することとなった。また従来気象庁にあった東海地震のための「地震防災対策強化地域判定会」（判定会）は、南海トラフ全域について検討をする「南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会」（評価検討会）と一体となって開催されることとなり、事実上役割を終えた。現在、判定会・評価検討会は毎月 1 回定例の会合を開催し、南海トラフ沿いで発生する地震やスロースリップに関する検討を行っている。

4. 北海道・三陸沖後発地震注意情報

北海道の太平洋側では、平均すると 80 年間隔でマグニチュード 8 クラスの巨大地震が発生していることは長く知られていた。ところが、陸上の津波堆積物の調査の結果、そのような地震による津波ではとうてい到達できない内陸や高台に津波堆積物が発見され、マグニチュード 9 クラスの超巨大地震が過去に発生したと考えざるを得ないことが、21 世紀初めには地震学者の共通認識となった。津波堆積物等の調査の結果、そのような超巨大地震の発生間隔は 340~380 年、最も新しい地震は 17 世紀前半（1611 年から 1637 年までの間）である可能性が高いことが判明した³⁾。超巨大地震発生に周期性があるとすると、次の超巨大地震発生が切迫していると思なすことができる。

このような評価を受け、中央防災会議では、2015 年 2 月から「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル検討会」（座長：阿部勝征 東京大学名誉教授 のちに 佐竹健治 東京大学地震研究所・教授）が組織され、地震による被害想定を進めた。また、2020 年 7 月から「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震対策検討ワーキンググループ」（主査：河田恵昭 関西大学理事・特別任命教授・社会安全研究センター長）が組織され、防災対応に関する議論が行われた。

その議論の中で、当該地域においても南海トラ

フ沿いと同様な情報が必要との考えが述べられ、科学的な妥当性を検討するために2021年8月に「日本海溝・千島海溝沿いにおける異常な現象の評価基準検討委員会」（座長：山岡耕春 名古屋大学環境学研究科長・教授）が組織されて議論が行われた。議論の結果、日本海溝北部から千島海溝沿いの領域では、南海トラフのような同規模の地震が同じ場所で繰り返し発生する性質は知られておらず、「南海トラフ地震注意情報（巨大地震警戒）」の様な確度を持った情報を出すことはできないものの、「南海トラフ注意情報（巨大地震注意）」と同程度の確度の情報であれば出すことに異論は無いという結論となった。またスロースリップについては、当該地域では南海トラフほど観測・研究が進んでおらず、スロースリップ発生にもとづく情報が出せるレベルには至っていないことも結論された。したがって、現時点では、M7クラス以上の地震が海溝域で発生した場合に、引き続いて巨大な地震が発生する可能性がある事を住民に周知するための情報を出すことが、地震学的にみて無理のない情報であることとされた。

これを受け、2022年8月に「日本海溝・千島海溝沿いの後発地震への注意を促す情報発信に関する検討会」（座長：片田敏孝 東京大学情報学環総合防災情報研究センター・特任教授）が組織され、情報発信のあり方について議論した。情報の名称は「北海道・三陸沖後発地震注意情報」とされ、震源域周辺でマグニチュード7.0以上の地震が発生した場合に、超巨大地震が発生した場合に地震の揺れの影響を受ける地域や津波の影響を受けると想定される地域に対して、注意を促す情報を発表することとなった。なお、本情報については、南海トラフ地震の評価検討会に対応する専門家組織はつくられず、想定範囲内でマグニチュード7.0以上の地震が発生した場合に気象庁から注意情報が発表されることとなっている。

5. おわりに

以上、近年巨大地震防災にかかわって創設された「南海トラフ地震注意情報」や「北海道・三陸沖後発地震注意情報」について、大震法から続く制定の経緯を振り返った。大震法にもとづく東海地震の予知情報・警戒宣言はわかりやすかったものの地震学的に無理があった。一方、「南海トラフ地震臨時情報」や「北海道・三陸沖後発地震注意情報」は、地震学的に許容されるものを目指した情報だが、わかりにくいという評判である。

「南海トラフ地震臨時情報」も、「北海道・三陸沖後発地震注意情報」も、地震の前兆現象を捉えて予測情報を出すというスタイルではなく、150年近い地震学の歴史の中で確固たる法則として認められている、余震の大森・宇津則やGR

則、およびETASモデルに基づき、地震やスロースリップが別の地震を誘発する性質を最大限活用して情報を出すものである。その意味で地震学的には保守的な情報とも言えるし、そのため不確実性が高い情報ともなっている。

「北海道・三陸沖後発地震注意情報」は、過去の地震履歴によると2-3年に1回の割合で発表される可能性があり、また「南海トラフ地震臨時情報（巨大地震注意）」も地震活動が活発な日向灘の地震発生をきっかけに発表される可能性が高い。いずれも実際の巨大地震につながる確率は低いので、結果的に情報の発表が情報に関する理解を進める最大の機会になるだろうと想像される。

参考文献

- 1) Jordan T. H., Chen Y-T., Gasparini P., Madariaga R., Main I., Marzocchi W., Papadopoulos G., Sobolev G., Yamaoka K., Zschau J.: Operational Earthquake Forecasting – State of Knowledge and Guidelines for Utilization. *Annals of Geophysics*, 2011, DOI:10.4401/ag-5350.
- 2) 中央防災会議「東海地震に関する専門調査会」：東海地震に関する専門調査会報告，2005，<https://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/20011218/pdf/siryu2-2.pdf>
- 3) 地震調査研究推進本部：千島海溝沿いの地震活動の長期評価（第三版），2017，https://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou_pdf/chishima3.pdf

『1週間程度』その居心地の悪さ 大地震発生！「1週間程度は注意」の次は？ —後発地震と臨時情報—

日本テレビ放送網株式会社 報道局 谷原和憲

地震学に対し「地震予測」に関する情報を求める一般のニーズは高い。このため気象庁・内閣府などの防災官庁は、地震学で「いま出来る」現状と照らしつつ新たな地震情報を創出する。熊本地震の後に生まれた「後発地震情報」、東日本大震災後の地震予測議論を踏まえた「南海トラフ地震臨時情報」もその例だ。この2つの情報は従来の地震情報とは違い、『わからない』に立脚しつつ『1週間程度』の警戒注意を呼びかけているのが特徴だ。しかし現状、『わからない』に立脚していることを、情報のエンドユーザーである一般市民に十分に理解されているとは言い難い。

1. はじめに

2022年7月に開かれた日本地震学会の特別シンポジウム(以下、特別シンポと呼ぶ)において、上記のタイトルで「伝え手」という立場から考えた地震情報の課題について話した。主に取り上げたのは、大きな地震の後、その後の地震活動の見通しについて発表する「後発地震情報」と、「南海トラフ地震臨時情報」だ。いずれの情報も、今の地震学ではこれ以上は「わからない」から始まった情報なのに、いつのまにか「わからない」の部分だけが抜け落ちてきているのではないか。そのため、発信側は「わかったから伝える」、受け手は「じゃあ、どうすればいいか言って」という従来型の防災情報と同じ扱い、行動指南を求めるコミュニケーションになってしまっている。本来の姿は、発信側が「わからない」ことを伝え、受け手は「じゃあ仕方ないから〇〇しよう」という、個々の状況に応じた行動決定のコミュニケーションになるはずなのに…このような趣旨で発表した。

発表から1年以上が経ち、2つの地震情報をめぐっては、新たな動きも起きている。後発地震情報については、その後も大きな地震のたびに発表され、2024年1月発生した能登半島地震でも注目を集めた。南海トラフ地震臨時情報は、まだ発表されたことはないが、受け手の認識についての新たな研究や調査結果が発表されている。

このため本論では、特別シンポでの発表内容に加え、新たな動きについても加筆することにした。

2. 後発地震情報の課題～熊本地震後の議論

後発地震についての情報発信の現在の形は、2016年4月の熊本地震の「教訓」を踏まえて作られた。熊本地震では、まず4月14日夜にM6.5(最大震度7)の地震が起き、その約28時間後の16日未明にM7.3(最大震度7)の地震が続いた。14日の地震の発生翌日から、気象庁は「今後の余震活動」の見通しとして、震度6弱以上の揺れとなる余震の発生確率などを発表していた。

しかし、後発の16日地震の方が大きかったことから「余震という言葉が、より強い揺れは生まれないと一般に受け取られたのではないか」という指摘を受けた。熊本地震から4か月後、政府の地震調査委員会は、防災上の呼びかけとしての後発地震情報の新しい形を示した(図1)。

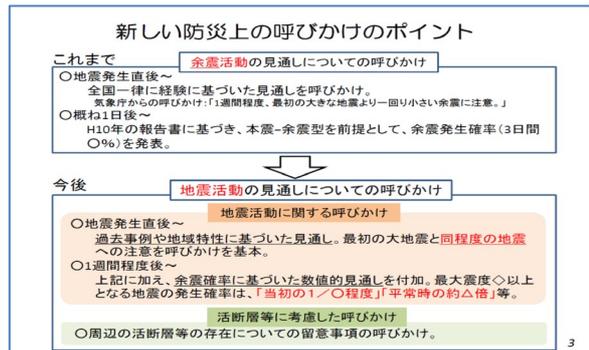


図1 地震調査委員会「新しい防災上の呼びかけ」
(地震調査委員会 2016)

新たな形では、地震発生直後から1週間程度は、過去事例などをもとに「最初の大地震と同程度の地震」への注意喚起を基本とし、余震確率に触れるのは1週間程度後となった。その理由について地震調査委員会は「大きな地震発生直後に本震-余震型か否かを見極めることは困難」で、「大地震後、大きい余震(場合によっては最初の地震を超える規模の地震)は、最初の大きな地震発生後1週間程度のうちに発生することが多い傾向にある」としている。発生直後は、その後の最大地震の規模が『わからない』から、過去の経験則から『1週間程度』は「同程度に注意」としたというのだ。

その結果、大地震の直後に発表される気象庁の地震情報はどう変わったのか? 特別シンポでは開催直前の2022年3月～6月の3つの気象庁発表を示した。3例目の能登のケースは群発地震的背景にも触れているが、3例とも骨格部分「地震発生から1週間程度、最大震度〇の地震に

注意) (○は発生地震の最大震度と同じ値) は、同じ表現だ (図 2). 情報の受け手である市民は「いつも同じ」理由を理解しているだろうか.

最近の“金太郎飴” 発表前に予定稿が書いてしまう...!?

20220316 福島県沖 D60km M7.3 最大震度6強

過去の事例では、大地震発生後に同程度の地震が発生した割合は1~2割あることから、揺れの強かった地域では、地震発生から1週間程度、最大震度6強程度の地震に注意してください。特に今後2~3日程度は、規模の大きな地震が発生することが多くあります。

20220419 福島県中通り D93km M5.4 最大震度5弱

地震発生後1週間程度、最大震度5弱程度の地震に注意してください。特に、地震発生後2~3日程度は、強い揺れをもたらす地震が発生することが多くあります。

20220619 石川県能登地方 D13km M5.4 最大震度6弱

過去の事例では、大地震発生後に同程度の地震が発生した割合は1~2割あることから、揺れの強かった地域では、地震発生から1週間程度、最大震度6弱程度の地震に注意してください。また、この地域では、1年以上地震活動が続いており、当面、継続すると考えられますので、引き続き注意してください。

図 2 2022 年に気象庁発表の「今後の見通し」 (特別シンポ発表時のスライドより)

3. 2024 年能登半島地震の後発地震情報

そして 2024 年の能登半島地震が起きた。1 月 1 日 16 時 10 分、M7.6 (速報値)、最大震度 7 の地震発生から 2 時間後の最初の記者会見で、気象庁は「今後の見通し」について以下のように発表した (図 3)。このあと『1 週間程度』、「最大震度 7 程度の地震に注意」は、その後 1 週間、そのまま変わらず繰り返し伝えられることになる。

(今後の地震活動の見通し)

過去の事例では、大地震発生後に同程度の地震が発生した割合は1~2割あることから、揺れの強かった地域では、地震発生から1週間程度、最大震度7程度の地震に注意してください。特に今後2~3日程度は、規模の大きな地震が発生することが多くあります。また、この地域では、3年以上地震活動が続いており、当面、継続すると考えられますので、引き続き注意してください。なお、今回の地震の揺れは従来より広範囲に広がっています。

図 3 能登半島地震 発生直後の「今後の見通し」 (2024 年 1 月 1 日 気象庁発表)

1 週間後の 1 月 8 日、気象庁は新たな「今後の見通し」を発表する。「同程度の地震の可能性は発生当初より低くなった」が、「今後 1 か月程度、最大震度 5 強程度以上の地震に注意」という内容だ。2016 年に示された「新しい形」に則り、今回初めて地震発生確率も示された。(図 4)

1 月 1 日に発生した M7.6 の地震と同程度の地震が発生する可能性は、地震発生当初に比べ低くなりましたが、地震活動は依然として活発な状態が継続しています。今後 1 か月程度、最大震度 5 強程度以上の地震に注意

「令和 6 年能登半島地震」
地震発生確率の状況 (1月8日00時00分現在)

・本日の時点で、最大震度 5 強程度以上^{*1}の地震の発生可能性は依然として高い状態です。
・地震発生確率^{*2}は1月1日のM7.6の地震発生当初に比べて 1 / 2 程度、平常時の 100倍超となっています。

地震発生確率の起算日時	地震発生確率の状況	
	地震発生当初との比較	平常時との比較
1月8日00時	最大震度 5 強程度以上 ^{*1} 1 / 2 程度	最大震度 5 強程度以上 ^{*1} 100倍超

図 4 能登半島地震 1 週間後の「今後の見通し」 (2024 年 1 月 8 日 気象庁発表)

記者会見で気象庁は「今後 1 か月の震度 7 の可能性」について聞かれると、「地震発生直後に比べれば徐々に低下していくが、起きなくなったと言っているわけではない。平常時でも完全にゼロではない」と答えた。また最大震度 5 強以上の発生確率が当初の 2 分の 1 になっていることの説明を求められると、地震の発生回数が時間とともに減っていく大森公式から丁寧に説明していた。

地震発生からの 1 週間、気象庁は連日、地震活動の資料を発表している。そこでは、日毎の有感地震回数や MT 図が更新され、地震回数が徐々に減っていることも、全体としては M も右肩下がりのも日々把握できる。(図 5)

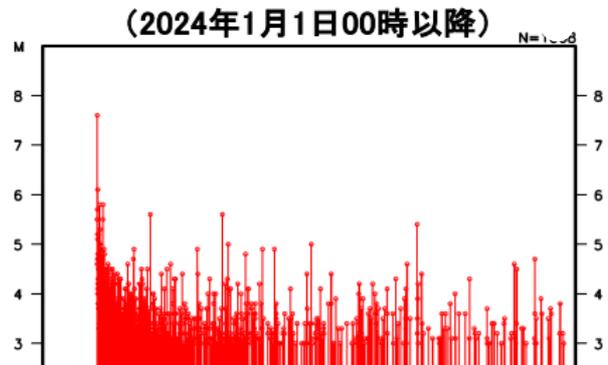


図 5 能登半島地震 地震活動経過図 (2024 年 1 月 8 日 気象庁発表)

しかし、熊本地震の教訓から、最初の『1 週間程度』に日本語で見出し的に打ち出される部分は『わからない』に基づく同じ言い回しだ。安心材料と誤解されるおそれのある、地震回数や M の「時間経過に伴う変化」は一步下がった扱いだ。『1 週間程度』が経ち「数値の見通しを付加」した発表スタイルに変わり、それを深く理解しようとする時に、ようやくスポットが当たる。

22 年 7 月の特別シンポでの発表の際は、「後発地震情報の功罪」として以下のスライドを示した。(図 6) 今回、能登半島地震の報道にあたり、思いをさらに強くした。

後発地震情報の功罪

- ◎ 地震発生直後の情報で、防災上の「念のため同程度」を見逃さない
- ▲ 「1 週間程度は同程度～」実は「いつも同じ」これ社会の常識?
- 本震・余震型の分析で理解が進むこともある (余震分布・回数)
- ▲ 情報文の呼びかけは、本震・余震型分析とは別の理屈なので、いつも同じ
→ 地震(余震)について理学的興味を持つ機会の逸失 これでもいい?
- ⇒ 地震が起きて「わかっていること/そのわからないこと」両方伝える
「過去の地震の経験からは～」 「本震・余震型とみて分析すると～」など使い分け
誤解を恐れず発信することも地震国ニッポンでは必要! リテラシーと科学、ともに進展を期待しつつ...

図 6 後発地震情報の功罪 (特別シンポ発表時のスライドより)

4. 南海トラフ地震臨時情報の『わからない』

東日本大震災の後、政府は歴史的に繰り返し発生する南海トラフ沿いの地震対策を抜本的に見直し、2019年3月に自治体向けの「ガイドライン」を策定した。防災対応を取るべき「異常な現象」を定め、それが起きると気象庁が「南海トラフ地震臨時情報」を発表することになった。

この「南海トラフ地震臨時情報」（以下「臨時情報」と呼ぶ）も、実は『わからない』が前提となった新しいタイプの防災情報だった。東海地震予知のような「確定的な予測」は困難だが、「可能性が高まっている」という「あいまいな予測」なら可能だという。平常時に比べ地震発生確率は「相対的に高まっている」が、高い確率で起きるわけではない。『わからない』というのが、この情報の本質だ。（大谷・谷原 2023）

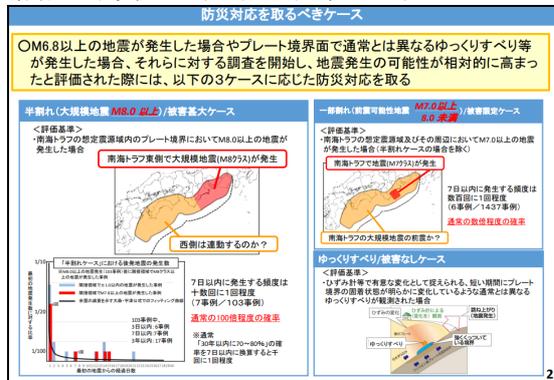


図7 「臨時情報」が発表されるケース（内閣府「ガイドライン」より）

地震発生の可能性が「相対的に高まった」ケースについて、「ガイドライン」では「半割れ（大規模地震）」「一部割れ（前震可能性地震）」「ゆっくり滑り」の3つを挙げている。このうち「半割れ」、最初にM8.0以上の地震が起きた時、M8級の後発地震が起きる頻度は、世界の過去の地震の例から「103事例中7事例」だとしている。絶対値的には6.8%だが「通常の100倍程度」なので「相対的に高まっている」となる。（図7）

この「臨時情報」を受け自治体は住民にどのような防災対応を求めるのか？「ガイドライン」は、次の地震が起きてからの避難では間に合わない津波浸水想定地域には「1週間の事前避難」を求めるが、それ以外の大多数の住民には同じ1週間に「日頃からの地震への備えの再確認」や「できるだけ安全な防災行動」を求めるだけだ。（図8）

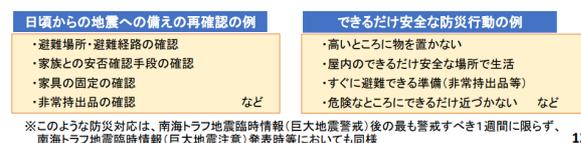


図8 日頃からの地震への備えの再確認等（内閣府「ガイドライン」より）

例えば「東側の半割れ」の後、「残り西半分」の住民が、この情報を受け取った時、どう感じるだろうか？ 防災の世界で言われるのは「空振りを恐れない」、命を守るためなら逃げないより逃げた方が良いという建前だ。しかし「臨時情報」発表時は「相対的に高まっている」という日常と違う状況でも、多くの人は「日頃の備えの再確認」と、少し感度を上げる程度で良いという。（図9）

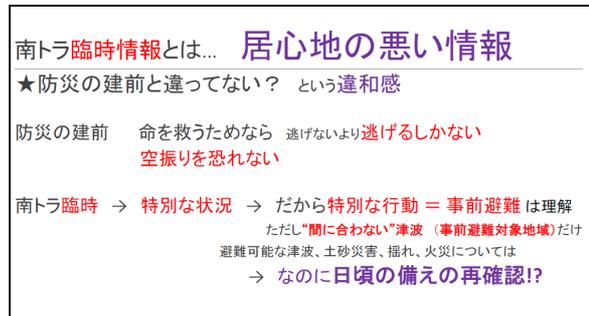


図9 「臨時情報」は「居心地の悪い情報」（特別シンポ発表時のスライドより）

実は、次の大地震の可能性が「相対的に高まっている」と、津波事前避難や「日頃の備えの再確認」の間には、between the lines で明確に書かれていない一文がある。以下の下線の部分だ。

大規模地震発生の可能性は平常時に比べ相対的に高まったが、それが起きるのが2・3日後か、1週間後か、2年後か、今回は起きないかは、今の地震学では『わからない』ので、当面1週間の津波事前避難や「日頃の備えの再確認」などを呼びかけている。

この点について「ガイドライン」では、期間設定を「1週間」とした理由として「地震予測ではない」「社会的な受忍限度」と書いてはいる。

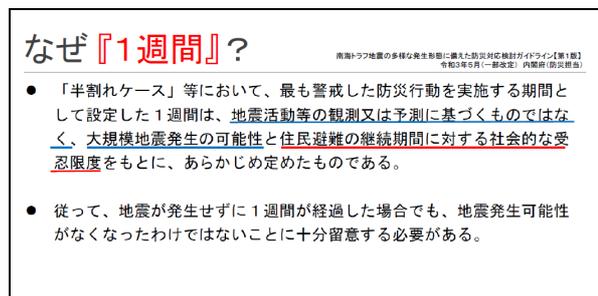


図10 なぜ『1週間』？ ガイドラインの説明（特別シンポ発表時のスライドより）

中抜けた『わからない』について、「臨時情報」が生まれた当初は、確定的な予測は困難であることも併せて打ち出されていたので「書かずとも当然」だったのかもしれない。しかし、5年が経つ中で「当然」が忘れられつつあるようだ。

5. 「臨時情報」をめぐる新たな調査・研究

2023年12月、内閣府（防災担当）が「臨時情報」についての認知度調査結果を発表した。政府の防災対策の対象となっている「南海トラフ推進地域」において、「知っている」は29.7%、「聞いたことはあるものの詳しく知らない」が35.5%、「知らない」が35.8%だったという。発表資料の中で、内閣府自身が「認知度は約29%に留まっている」という表現を使わざるを得ない結果だった。

また、2023年11月の地震学会でも「臨時情報」の認知度などについての発表があった。この調査では、認知度からさらに踏み込んで「臨時情報」が発表された時、1週間以内に大地震が発生する確率がどれくらいと思うか？も調べている。最初にM8.0以上の地震が起きた場合に出される「臨時情報（巨大地震警戒）」では、次の大地震が起きる確率が「50%以上」と答えた人が75%にもなった。（図11）

		巨大地震警戒	巨大地震注意
①	100%近い	14.3%	10.7%
②	80%	29.2%	21.1%
③	50%	31.5%	29.9%
④	25%	9.6%	16.7%
⑤	10%	6.5%	10.3%
⑥	1%	2.6%	5.0%
⑦	地震が起きることはない	6.3%	6.3%

Q4:「巨大地震警戒」が発表された場合、警戒期間である「1週間以内」に、大地震が起きる確率ほどの程度だと思いますか？
Q5:「巨大地震注意」が発表された場合、注意期間である「1週間以内」に、大地震が起きる確率ほどの程度だと思いますか？

図11 「次の大地震」発生確率認識 調査結果（林・大谷2023 発表スライドより）

ここで図7をもう一度見て欲しい。M8.0以上の地震が起きた場合の「次の確率」について、「ガイドライン」に示されたのは「103事例中7事例」、約7%だ。過去の南海トラフ地震では安政や宝永のような“ほぼ即連動”の事例もあるので、それを知っている人もいるだろうと多少甘めに解釈しても、「ガイドライン」相当の確率と答えた人は⑤⑥⑦の約15%、大甘に見て④まで入れても25%、「臨時情報」の正体を（ある程度）理解している人は4人に1人だけということになる。

4. の冒頭にも書いたが、「臨時情報」を中心とした南海トラフ地震対策の「ガイドライン」が発表されたのは2019年3月、これを受けて関係自治体は新たな防災計画の策定や住民への周知活動に乗り出した。それが新型コロナ感染拡大期と重なり、思うように進まなかった事情もある。しかし、2つの認知度調査結果からは、「臨時情報」の本質、明文化されていない『わからない』の正体をいま理解している人は、表向きの認知度の数字よりさらに低いと考えざるを得ない。その前提で「周知のやり直し」が必要だ（図12）。

南海トラフ地震臨時情報

- ◎ 東日本大震災を経て、「地震学で言えること」を再整理 『わからない』を正直に
 - ▲ 「相対的に高まる」は過去例分析結果 地震前からわかってたこと **それみんな知ってる？**
 - 地震発生後の観測・分析結果 “理科の続報”として発表（南海トラフ地震解説情報）
 - ▲ 「1週間」は“社会の理屈” “理科の続報”がどうであろうが変わらない **それみんな知ってる？**
- ⇒ 南トラ臨時情報には**<欠落した一文>**がある
それを埋めないと、真に理解し、使いこなせないのでは？

図12 南海トラフ地震臨時情報の“正体”（特別シンポ発表時のスライドより）

参考文献・引用したウェブサイト

地震調査研究推進本部 地震調査委員会, 2016, 大地震後の地震活動の見通しに関する情報の在り方

気象庁ホームページ, 報道発表資料, 令和6年新着情報, 令和6年1月, 各日付で示した能登半島地震関連の発表資料

<https://www.jma.go.jp/jma/press/kako.html?t=1&y=06>

内閣府（防災担当）, 2019, 南海トラフ地震の多様な発生形態に備えた防災対応検討ガイドライン【第1版】

大谷竜・谷原和憲, 2023, 南海トラフ地震情報における災害予測情報の運用上の考え方—防災対応への活用における現状と課題—, 日本地震工学会論文集 第23巻, 第1号

内閣府（防災担当）, 2023, 南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ（第13回）資料1-3 地震防災対策の現状調査に係る住民アンケート結果

林能成・大谷竜, 2023, 南海トラフ地震臨時情報の認知度と対応行動に関する意識調査, 2023年11月2日 日本地震学会秋季大会 発表

大きな地震連鎖の確率予測をどう求めるか

統計数理研究所 尾形良彦

確率に対する理解が社会に浸透していない状況では、確率的情報をどう扱うかは難しいかもしれませんが、リアルタイムで地震データなどを発信できるようになった現在では、リアルタイム予測も望まれています。様々な統計モデルを用いた確率予測について「統計地震学」(統計数理, 2015) はあえてそれらを独自のテーマとしています。本稿では、昭和の南海トラフ巨大地震などを例に、整備すべき予測の課題を解説します。

1. 連発型「余震」のリアルタイム確率予測

わが国では 1995 年阪神淡路震災以来、余震の発生確率(地震調査委員会 1998) が公表・発信されてきました。これはマグニチュードの GR 則および余震減衰の大森・宇津則を使っています。これらの統計的法則のパラメタ値は全国一律でなく余震列固有で、これがリアルタイムの直後予測を難しくしています。事実 M7 クラスの本震でも余震総数が数倍以上違ったりします。

2016 年の熊本の連鎖地震以来、数値的な予測の公表が控えられて、「大地震発生後 1 週間程度は同規模の後続地震に注意」といった情報の出方になっています。

米国では 2019 年に同様な連鎖大地震がカリフォルニア州 Ridgecrest で 18 時間経過後に起きましたが、USGS はモデルを再推定して確率予測を続行し公表しています。ただし、十分なデータ数を確保するために後続の本震後 3 日ほど経ってから公表されました。この地震の余震の欠測規模がかなり大きかったためです。

欠測余震データを考慮したモデル。

本震後 1 日以内に大きな余震を含め大半が発生しています。そのため、仮にリアルタイムで確率予測を出すためには、ひと工夫が必要です。まずマグニチュード値ごとに検出率を予測し、GR 則を掛け合わせ、余震の頻度分布を推定します(Ogata & Katsura 1993)。これによって、大きな地震の直後からの検出能力の低下による欠損データから、真の余震発生率を理論的に補完し、同時に b 値も推定し、本震直後からの確率予測に使います。

例えば Ogata & Omi (2020) によれば、熊本地震や Ridgecrest 地震の場合、本震よりも大きな余震が発生する確率は、通常の余震活動に比べて有意に大きな値になっています。事実、後発の本震の大余震に関する確率も、前者ものより有意に小さいものになっています。

国内に於いて、過去 5 年間の M6 以上の 14 例の大地震について、Hi-net の未編集データに基づく準リアルタイム予測によると「本震より大きな余震が 24 時間以内に起きる確率」は熊本前

震の場合が 30% であるのに対し、他の 13 例は高々 10% で、多くの場合は数% でした(汐見ほか 2022)。

ETAS モデルでは、地震の続発性から、大森宇津モデルよりも、大余震が起きる予測確率も増えます。そこで、本震直後からの余震の欠測を克服して、ETAS モデルの真の活動度を示しました(尾形, 2024; 尾形・熊澤, 2023)。

大地震直後、刻々と変わる検出確率を推定し、リアルタイムで安定的に予測実装することが望まれます。

ETAS モデルシミュレーション長期予測。

ここで改めて強調しますが、ETAS モデルはマグニチュードデータを外生変数として使います。通常、ETAS のシミュレーション実験では GR 則の独立系列データが使われていますが、非 GR 則のマグニチュード列で予測を求める試みがあります。

UCERF3-ETAS 法(US Geological Survey, 2022) は中期および長期予測を実施するものです。それはカリフォルニア各地の地震断層区分に対して固有地震の特性マグニチュード分布、そして時空間 ETAS モデル用のマグニチュード列に対しては上限付きの GR 分布を考慮します。その上で、活断層地震発生率の BPT 更新過程(たとえば地震調査委員会 2001 参照) と時空間 ETAS を組み合わせ、シミュレーションによる大量の地震発生を繰り返し、誘発実験例を集めた確率予測です。

例えば、サンアンドレアス断層の一部が破断するといった仮想的な地震が発生した後の、ロサンゼルスやサンフランシスコ周辺に及ぶ地震活動の中・長期予測を得ます。また、Ridgecrest 地震で、周辺の断層セグメントの破壊にまで及ぶシナリオの予測確率を求めています(Field & Milner 2018)。

同様なシミュレーションで南海トラフの地震から内陸活断層破壊への誘発シナリオにも試みることができるかもしれません。

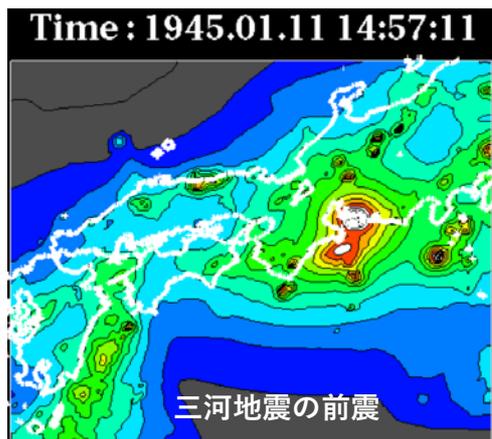
2. 回顧的地震予測の可能性: 昭和の南海トラフ地震前後の活動などをめぐって

時空間 ETAS の可視化で追う活動のシナリオ

次回の南海トラフの巨大地震の長期確率予測については議論のあるところですが、普段は地震活動が低く余震が少ない西南日本で、昭和初期には、様々なイベントが見られました。そこで、連鎖地震のシナリオや予測の参考のために昭和東南海や昭和南海の地震前後を扱ってみたいと思います（尾形 2003, Ogata 2004）。これらを出るだけ予測可能性の立場から議論し、連鎖地震の蓋然性を追求したい。

断層のずれによって地震が起き、周辺の別の断層に加わる応力は、常時蓄積されている応力より、はるかに大きいものです。大地震が起きて短時間で、周辺の地殻がワッと押し寄せたり引いたりしていることが見えます。そのため、或るところでは急に地震が活発になったり、活動中の余震が途端に静かになったりします。

「時空間 ETAS モデル」(Ogata 2022) は、どここの場所で活動度が高揚して、どここの場所が余震型の減衰をしているか、どここの場所で静穏化や活発化があるか、時間を追って動画で可視化できる、そういう統計モデルです。



前震型の確率

前兆（前駆）現象と異常現象（常時と違う状態、データ異常値など）は明確に使い分ける必要があります。地震予測では異常現象が前兆現象である確率が問題です。たとえば「前震」は本震が起きてから認定されるもので、後者の「前震かもしれない」地震の群の性質、たとえば時空間的な発生集中度やマグニチュード系列の増減などの違いを手掛かりとして前震の確率予測に結びつける統計的判別モデル（Ogata et al. 1996, 2018, Ogata & Katsura 2012）が必要です。

1944年東南海地震後の活動度を動画でモニターすると、その余震域と見える地域から離れた活動が三河地域に見えます。この地震列から「前震型」である確率を計算します。すなわち、この地震列の現時点までの最大マグニチュードより将来 0.5 以上大きい地震が発生する確

率です。本震前の三河地域の系列は、M4 以上が 8 個あり 5 番目の地震のマグニチュードは M5.7 でした。ここで、将来の地震につき「M6.2 以上」の地震が起きる確率は 5~9% の確率です。この地域での事前確率は 3% 以下ですから、通常より 2~3 倍ほどの確率利得ですが、被害リスクを考慮すれば、要注意と構えるべきです。

しかも、大地震の余震域境界部で認識された地震群が、隣の大地震の前震である確率利得はもっと高いと考えられます。実際、大地震の後、隣接地域で大地震が起きる条件付き確率を見積る統計的な解析結果から、以下のようなことが成り立ちます。すなわち、いったん大地震が起きると、その近辺に同程度以上の地震が起きる確率（単位面積当たり）は遠方のどこかに起きる場合よりも数倍大きいことが経験的統計（Ogata, 2001; 尾形, 2003）から示されます。

群発地震活動

さらに群発地震活動として注目した部分があります。それは紀伊半島南端付近の活動です。これは結果的には 1946 年南海地震の震央の北部にあたります。この地域では、東南海地震の余震の後、活動が減衰せずに、南海地震まで一貫して群発地震が発生していました。JMA 震源データだけでなく、潮岬測候所で捉えた 300 を超える有感地震の発生履歴（Ogata, 2004 参照）からも明らかです。この付近でスロースリップがあったかもしれません。現在なら GNSS インバージョンで判明するかもしれません。また非定常 ETAS モデル（Kumazawa & Ogata 2013）で、流体間隙圧やゆっくりすべりの関与の時間変化を可視化することができます。この群発地震やスロースリップに対して、それらが事後的なものか、前駆的なものかそれとも、常習的なものかを確率的に評価したいところです。

広域応力変化（尾形 2003, Ogata 2004）

西南日本の地震活動時空間パターンで、最も顕著なのは和歌山市直下の 20 年間にわたる群発地震活動が、東南海地震直後に静穏化したことです。この時期は、空襲などによる戦争末期および戦後の検知の低下で、中央气象台（気象庁）カタログの均質性に疑義がありましたが、除群カタログによれば、全てのマグニチュード下限に対して検出率が時間的に変化せず、この静穏化は人為的なものでないことが分かります。

1970 年代以降に計算された、東南海・南海地震を含む、大地震の断層モデルやストレス場の研究結果によって、これらの連鎖地震前後の西日本で活発な 8 地域での事後（ポストサイスミック）の地震活動の変化に注目しました。それぞれ、応力変化と断層のすべり摩擦を含んだ ΔCFF を調べ、地震活動の増減を調べました。各地域の ΔCFF の

正值と負値と地震活動増減の変化は良く対応しています。すなわち、大地震を契機に、正の ΔCFF の地域では地震活動が活発化し、負の ΔCFF の地域では静穏化して見えます。

他方、和歌山市周辺域、兵庫県南部地域、四国東部地域などでは、東南海地震の前から静穏化しています。これは、たとえば東南海断層モデルの深部延長部（志摩半島直下）でスロースリップモデルを設定すれば説明できます。

地震の断層解が分かっているならば、その周辺での事前スロースリップの事後予測で、測地データや地震活動変化を解釈することはできます（Ogata, 2010b, 2011; 尾形, 2007, 2008）が、それでも精度の問題が付きまといまいます。

内陸部を含めて測地時系列からスロースリップの情報を事前に把握することは重要ですが、多くの場合、インバージョンが難しい。そこで、様々な場所のスロースリップを設定し、上記のようなフォワード推論で測地的変化や群発活動の変化と調和する尤もらしさを評価し、確率予測に繋げることが望まれます。

余震の相対的静穏化

ETAS モデルの予測どおりに順調に推移せず、相対的に静穏化する場合は地震活動の異常現象と考えられています。余震列に限って解析したとき、相対的静穏化の場合は、将来新たな断層破壊を伴う大きな余震または大地震が起きる可能性が高い。例えば、南海地震の前後 30 年間に発生した西南日本の内陸型大地震の余震活動のうち、前者は北丹後地震を除く 5 例の余震活動には相対的静穏化が見られますが、後者 6 例の余震活動は軌道に乗っている。

そこで日本周辺の余震列を 76 例ほど調べると、相対的静穏化が確認できたのは半分ほどで、有意な静穏化を検出しても必ずしも大地震が間もなく近傍に発生するとは限りません。確率予測としてその何%が、どれくらい経って、どの辺りの大地震に結びつくでしょうか。相対的静穏化が長期間（例えば 3 ヶ月以上）に及ぶと、余震域近辺（たとえば 200 km 以内）で、6 年以内の期間に、本震と同規模以上の地震が起きる確率利得が、その他の場合より数倍以上であるという結果でした（Ogata 2001, 2017; 尾形 2016）。

静穏化のメカニズムについては諸説ありますが、筆者は応力（クーロンの破壊関数 CFF ）の減少が引き起こす静穏化を考えます。まず大地震の断層運動を源として周辺部で CFF が増加する領域では活発化するだけでなく、減少する領域では静穏化します。広域の相対的静穏化や余震活動の相対的静穏化も多数の潜在的な地震群の受け手の断層系での CFF の減少が余震や常時地震の発生を抑制していると考えます（Ogata, 2004, 2010a など）。ただし、これらには事前に

応力変化を引き起こす断層運動の源が分かっている場合が多く、筆者らは、破壊前の断層内または深部延長部分での、ゆっくりすべり

（slow slip）を仮定し、ETAS モデルによる地震活動異常や地殻変動データの変化のパターンを比べてきました（Ogata, 2007, 2010b, 2011; Kumazawa et al 2010; Kumazawa & Ogata, 2013）。

測地学的課題

現状では事前のスロースリップの検出は、かなり難しいようです。GEONET 観測網は世界に類が無いほど一様で密に配置されていますが、中小地震が至る所で頻発しており、測地時系列には地震時のみならず前後のすべりによる地殻変動が複雑に混ざり合っています。

それらを効率的に分離判別する時空間モデルや解析法を開発することが急がれます。そのうえで、前駆的すべりという前兆現象をとらえることができれば中期・短期的地震予測に有望です。けれども常習的なすべりがある場合も考えれば、どの程度の割合で大地震前のすべりなのかを統計的に識別しなければいけない。それらの地域性もあるだろうし、どういうすべりだったらこのぐらい確率利得が増えるとか、そういう例を地震の観測結果に対比して定量的（統計的）に研究しなければなりません。

3. むすび.

ある異常観測が大きな地震につながる確率が普段に比べて何倍（確率利得）くらいになるか、そして大きな地震が何日後にどの辺で起き易いかといったことを確率利得の時空間関数（危険拡大度; 尾形 2021）で表現したい。その際、空振り率が高くても、見逃し率が低い観測データの異常現象を多数見出してデータベースを蓄積することです。見逃し率を小さくする為には広域の包括的な調査が不可欠です。異常現象の大地震発生への前兆性や切迫性の危険拡大度を時空間的に求める必要があります。

それも一つの異常現象で無く複数の異常現象がとらえられれば、それらを組み合わせることで確率が高まります。このような研究を進めていくことが重要です。一種類の異常現象では高い確率利得を出すことは困難でしょうが、いくつかの異常現象が重なって観測されれば確率は高められます（尾形 2016, 2021; Ogata, 2017）。これには数多くの事例を調査しなければなりません。それらをどの様に組み込んで、相場のモデルを超える確率予測を実現するのが課題で有望な策です。

参考文献

Field EH & Milner KR, 2018, Candidate products for

- operational earthquake forecasting illustrated using the Hay Wired Planning Scenario, including one very quick (and not-so-dirty) hazard-map option, *Seis. Res. Lett.* **89** <https://doi.org/10.1785/0220170241>
- Kumazawa T, Ogata Y & Toda S, 2010, Precursory seismic anomalies and transient crustal deformation prior to the 2008 Mw = 6.9 Iwate-Miyagi Nairiku, Japan, earthquake, *J. Geophys. Res.*, 115, B10312, doi:10.1029/2010JB007567.
- Kumazawa T & Ogata Y, 2013, Quantitative description of induced seismic activity before and after the 2011 Tohoku-Oki earthquake by nonstationary ETAS models, *J. Geophys. Res.*, **118**; doi:10.1002/2013JB010259
- Kumazawa et al., 2016, Background rates of swarm earthquakes that are synchronized with volumetric strain changes, *Earth Planet. Sci. Lett.* **442**, 51-60; <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2016.02.049>
- 熊澤貴雄, 尾形良彦, 2021, 長野・岐阜・福井県境付近の群発地震活動について, *予知連会報* **106** (7-2) https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou106/07_02.pdf
- 熊澤貴雄, 尾形良彦, 2022, 非定常 ETAS モデルから見える能登半島群発地震活動の地域的変化, *予知連会報* **107** (7-4) https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou107/07_04.pdf
- Ogata Y, 2001, Increased probability of large earthquakes near aftershock regions with relative quiescence J. *Geophys. Res.* 106 (B5), 8729-8744; <https://doi.org/10.1029/2000JB900400>
- 尾形良彦, 2003, 1944 東南海地震および 1946 南海地震前後の西南日本における地震活動変化について, *予知連絡会報*, **70** (7-3), 378-383. <http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou70/07-03.pdf>
- Ogata Y, 2004, Seismicity quiescence and activation in western Japan associated with the 1944 and 1946 great earthquakes near the Nankai trough, *J. Geophys. Res.*, **109** (B4), <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2003JB002634>
- 尾形良彦, 2007, 能登半島周辺の地震活動と地殻変動について, *予知連絡会報*, **78** (7-11) http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou78/07_11.pdf
- Ogata Y, 2007, Seismicity and geodetic anomalies in a wide area preceding the Niigata-Ken-Chuetsu earthquake of 23 October 2004, central Japan, *J. Geophys. Res.*, 112, B10301, doi:10.1029/2006JB004697.
- 尾形良彦, 2008, 2007 年中越沖地震の余震活動および周辺部の地震活動と地殻変動について, *予知連絡会報* **79** (7-3), http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou79/07_03.pdf
- Ogata Y, 2010a, Space-time heterogeneity in aftershock activity, *Geophys. J. Int.* **181** doi: 10.1111/j.1365-246X.2010.04542.x
- Ogata Y, 2010b, Anomalies of seismic activity and transient crustal deformations preceding the 2005 M7.0 earthquake west of Fukuoka, *PAGEOPH* 167, 1115-1127, doi:10.1007/s00024-010-0096-y.
- Ogata, Y. (2011). Pre-seismic anomalies in seismicity and crustal deformation: case studies of the 2007 Noto Hanto earthquake of M6.9 and the 2007 Chuetsu-oki earthquake of M6.8 after the 2004 Chuetsu earthquake of M6.8, *Geophys. J. Int.* **186** (1) 331-348, doi:10.1111/j.1365-246X.2011.05033.x,
- 尾形良彦 2016, 熊本 M7.3 地震の確率予測の試算, *予知連会報* **96** (12-23) https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou96/12_23.pdf
- Ogata Y 2017, Forecasting of a large earthquake: an outlook of the research. *Seismol. Res. Lett.*, **88**, 1-10. doi: 10.1785/0220170006
- Ogata Y, 2017, Statistics of earthquake activity: models and methods for earthquake predictability studies, *Annu Rev Earth Planet Sci* **45**: 497-527 <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev-earth-063016-015918>
- 尾形良彦, 2021, 階層的時空間 ETAS モデルに基づく短期・中期・長期予測および背景率予測: 自動予測の開発に向けて, *予知連会報* **105** (12-10), https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou105/12_10.pdf
- Ogata Y, 2022, Prediction and validation of short-to-long-term earthquake probabilities in inland Japan using the hierarchical space-time ETAS and space-time Poisson process models *Earth, Planets, Space*, **74**: 110 <https://doi.org/10.1186/s40623-022-01669-4>
- 尾形良彦, 2024, 地震データの欠測率を考慮したトカラ列島および鳥島近海の地震活動の解析, *予知連会報* **111** (10-4).
- Ogata Y & Katsura K, 1993, Analysis of temporal and spatial heterogeneity of magnitude frequency distribution inferred from earthquake catalogues, *Geophys. J. Int.*, **113** (3); <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1993.tb04663.x>
- Ogata Y, Utsu, T., & Katsura K, 1996, Statistical discrimination of foreshocks from other earthquake clusters, *Geophys. J. Int.*, 127, 17-30. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1996.tb01531.x>
- Ogata Y & Katsura K, 2012, Prospective foreshock forecast experiment during the last 17 years, *Geophys. J. Int.* **191** (3); doi: 10.1111/j.1365-246X.2012.05645.x
- Ogata Y & Katsura K, 2014, Comparing foreshock characteristics and foreshock forecasting in observed and simulated earthquake catalogs, *J. Geophys. Res.*, **119** (11), doi:10.1002/2014JB011250
- Ogata Y et al., 2018, Exploring magnitude forecasting of the next earthquake, *Seismol. Res. Lett.* **89** (4), doi: 10.1785/0220180034
- Ogata Y & Omi T, 2020, Statistical monitoring and early forecasting of the earthquake sequence: Case studies after the 2019 M 6.4 Searles Valley Earthquake, California, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **110** (4); <https://doi.org/10.1785/0120200023>
- 尾形良彦, 熊澤貴雄, 2024, 系統的な欠測を伴う地震カタログから実際の活動率変化の推定: M6.5 能登半島地震の余震活動について, *予知連会報* **111**(6-2)
- Omi T et al., 2013, Estimating the ETAS model from an early aftershock sequence, *Geophys Res. Lett.* doi:10.1002/2013GL058958
- 汐見勝彦, 近江崇宏, 尾形良彦, 澤崎郁, 2022, リアルタイム余震活動予測システム: 最近 5 年間の予測実績と検証, *JpGU [SSS11-P01]*
- 統計数理, 2015, 特集「地震予測と統計モデル」 <https://www.ism.ac.jp/editsec/toukei/index.html>
- US Geological Survey, 2022, UCERF3 ETAS, <http://wgcep.org/UCERF3-ETAS.html>
- 地震調査委員会, (1998) 予測の確率評価手法について, <https://www.jishin.go.jp/main/yoshin2/yoshin2.htm>
- 地震調査委員会, 2001, 長期的な地震発生確率の評価手法について https://www.jishin.go.jp/reports/research_report/choukihyoka_01b/
- Kumazawa T, Ogata Y & Toda S, 2020, Wide-area seismicity anomalies before the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Geophys. J. Int.*, 223 (2) 1304-1312, <https://doi.org/10.1093/gji/ggaa356>.

シンポジウム『等身大の地震学』をどう防災に役立ててるのか？—確率論的地震ハザード評価とシナリオ型地震被害想定とその利活用— 趣旨説明

工学院大学・建築学部 久田嘉章

2022年12月に「地震学を社会に伝える連絡会議」の主催により、第2回特別シンポジウム『等身大の地震学』をどう防災に役立ててるのか？—確率論的地震ハザード評価とシナリオ型地震被害想定とその利活用—をオンラインにて開催した。その趣旨は不確実性の高い「等身大の地震学」の現状と、南海トラフ地震などで行われている最大級地震によるシナリオ型被害想定と対策の課題を学び、さらには確率論的地震ハザード評価と対策の必要性を理解頂くことであった。すなわち、2011年東北地方太平洋沖地震により海溝型巨大地震の想定は「固有地震」から「最大級を含む多様性のある地震」に大きく変化し、その結果、防災上の目的で可能性を度外視した最大級地震の被害想定が公表された。一方、近い将来に起きる可能性の高いのは中小地震であり、本来は住民や地域でできる対策を最大級地震への想定だけでは諦めてしまう弊害も生じている。今後は確率の低い最大クラスから確率の高い中小地震を含む確率論的な多段階のハザード・リスク情報とそれへの柔軟な対策が必要になる。

1. はじめに

2011年東日本大震災を契機に日本地震学会は「行動計画2012」を策定し、「社会に“等身大”の地震学の現状を伝えていくべき」などの提言を公表した。2013年度に「地震学を社会に伝えるワーキンググループ」を設立し、2014年度からは「地震学を社会に伝える連絡会議」として活動を続けている（加藤，2024）。2022-23年度の主な活動テーマは「等身大の地震学と防災」として、第1回特別シンポジウム「大地震発生！『1週間程度は注意』の次は？—後発地震と臨時情報—」を2022年7月に、さらに第2回特別シンポジウムを表題のテーマで同年12月にオンラインにより

開催した。その際、著者は趣旨説明を行った。

著者はかねてから可能性の極めて低い最大級地震を強調した現状の地震被害対策の問題点を指摘し、可能性の高い中小地震の想定と対策を含めた柔軟性のある多段階の対策の必要性を指摘してきた（例えば、久田，2016a, b）。第2回特別シンポジウムでも企画の背景として趣旨を説明した。本報告ではその際の趣旨説明をもとに、不確実性ある「等身大の地震学」の実情や、最大級地震の震度や津波評価の現状、中小地震を含む多段階のハザード評価と対策の必要性などの実例をあげて紹介したい。

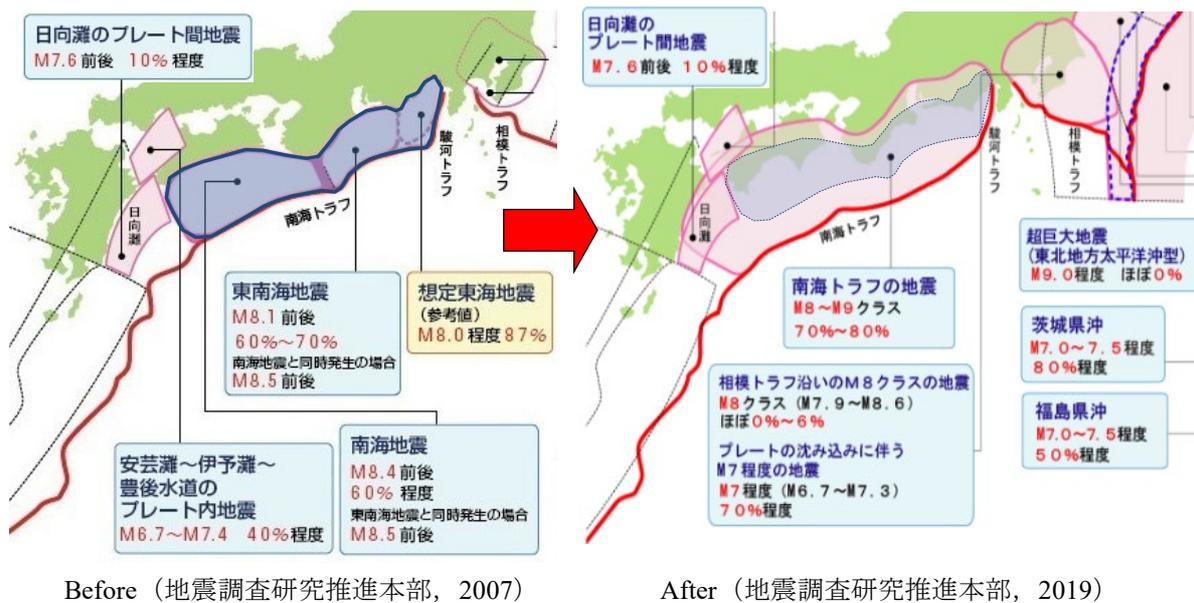


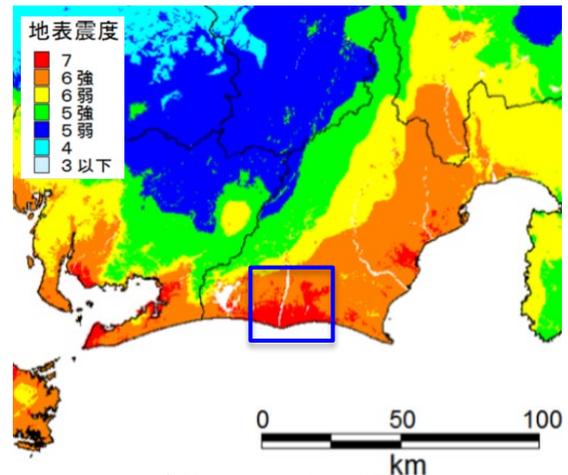
図1 2011年東北地方太平洋沖地震の前後で変更した南海トラフ地震の地震発生可能性の長期評価（「固有地震」から「最大級地震を含む多様性を考慮した地震」へ）

2. 「等身大の地震学」: 「固有地震」から最大級地震を含む「多様性ある地震」へ

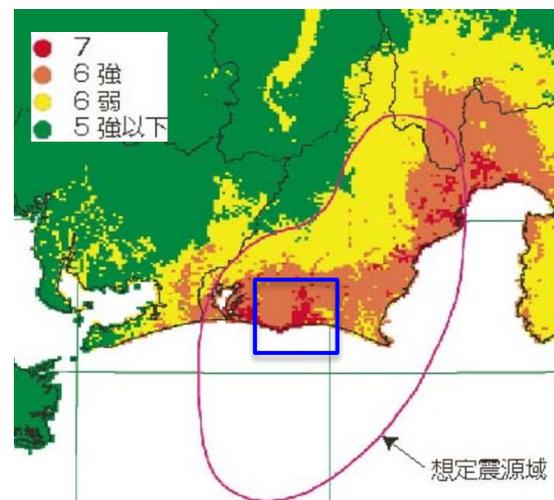
想定外であった超巨大地震である 2011 年東北地方太平洋沖地震 (M9) を契機として、海溝型巨大地震として想定すべき地震は、従来の「固有地震」から、前例のない最大級地震を含む「多様性ある地震」へと大きく変更した。図 1 に地震調査研究推進本部 (地震本部) による南海トラフ地震の想定地震と発生確率の評価の変化を示す。東北地方太平洋沖地震の前には、想定東海地震 (M8 程度) が今後 30 年で 87%, 東南海地震 (M8.1 前後) が 60-70% などと想定していたが、2011 年後には震源域を M9 まで拡大して、この領域のどこかで M8-9 の地震が今後 30 年に 70-80% で発生と大きく変化した。科学的には南海トラフで M9 地震が発生することを示す明確な根拠はなく、あくまで防災上の理由から東北地方太平洋沖地震と同規模の M9 地震を想定することになった。残念ながら、現在でも地震学は発展途上であり、大地震が発生する度に「分からないことが分かった」というのが「等身大の地震学」の実状である。

2. 「見逃し」より「空振り三振」: 震度分布や津波高の想定事例

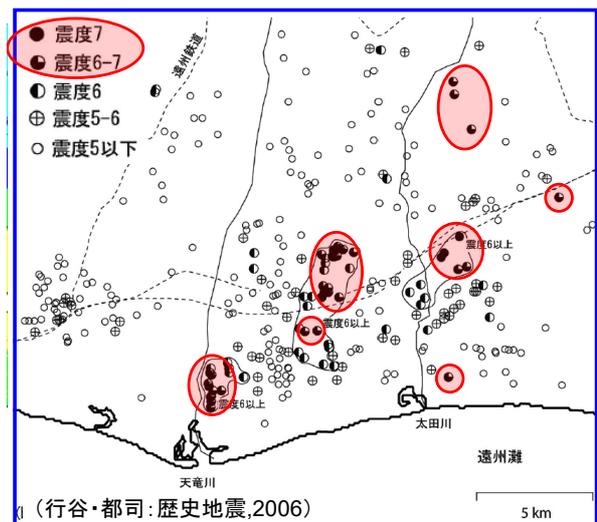
「想定外を無くす」ため、国や自治体では最大級地震による被害想定を行い、さらに震度や津波などでも防災上の理由から過大に評価する傾向にある。まず震度に関して、想定結果と歴史地震による実際の震度分布を比較してみたい。図 2 (a) は、最大級の想定南海トラフ地震 (M9) の震度分布である。静岡県や愛知県の太平洋側の広大な地域が全て震度 6 強以上である。特に四角で示した天竜川の流域では大半の地域で震度 7 と評価されている。一方、図 2 (b) は規模の小さな単独の想定東海地震 (M8) による震度分布である。やはり震源断層の直上の静岡県の太平洋側の広大な地域が震度 6 強以上である。一方、歴史地震の震度分布の例として、図 2 (c) は 1854 年安政東海地震 (M8.4) の天竜川流域の震度分布である。この地震は東海地震と東南海地震が連動した巨大地震であるが、大半の地域では震度 5 や 6 以下で、震度 6-7 (6 強相当) や震度 7 は所々に散在している程度である。近年の地震被害調査でも、高い震度や被害が集中する地域には大きなばらつきが生じることは良く知られている。従って、図 2 (a), (b) のように広大な地域が一様に震度 6 強以上となるような震度分布は現実には存在しない。図 2 (a) や (b) は「見逃し三振」を避けて、「どこでも震度 6 強以上の激しい揺れが来る可能性がある」という防災目的の評価結果であることを理解すべきである。従って、これをもとにした家屋被害や死者・負傷者数なども一般に過大に評価されることに注意が必要である。



(a) 想定南海トラフ巨大地震 (M9) の震度分布 (基本ケース: 内閣府, 2006)



(b) 想定東海地震 (M8) の震度分布 (内閣府, 2006)



(c) 1854 年安政東海地震 (M8.4) における天竜川流域の震度分布 (赤丸は震度 6 強以上)

図 2 想定東海, 南海トラフ巨大地震と 1854 年安政東海地震 (M8.4) の震度分布の比較 ((a), (b) の四角枠が (c) の天竜川流域に対応)

津波の想定も同様であり、最大級地震の津波は、歴史地震による津波よりも非常に大きく評価される。例として図3は、徳島県・海陽町沿岸での想定最大波水級の南海トラフ地震と歴史地震による海岸の津位（T.P.からの高さ）の分布を示している（徳島県，2012）。最大級の地震（M9）では約18mであるが、過去500年間の歴史地震では1854年安政南海地震が約9mで、その他は全て6m以下である。ちなみに2003年の東南海・南海の連動地震の想定では6-7mとしていた。

津波避難の対策例として、図4は徳島県海陽町の高さ約18mの巨大な津波タワーと、2012年想定最大級津波に対応できないために指定が解除された高さ約10mの旧・津波避難タワーである。周辺には老朽化した家屋と高齢者が多く、震度6強以上の激しい揺れにより家屋の被害等で多くの住民が避難困難になることが予想される地域にある。最大級津波を想定した避難対策は必要ではあるが、近い将来に来る可能性の高いのは6m程度以下の津波である。従って、近くにあれば旧避難タワーやRC造などの丈夫な3階建て以

上の建物に逃げ込んだり、最後の手段としては最新の耐震基準や耐震補強が行われている住宅であれば、自宅の2階や屋上などに避難することで命を救える確率は非常に高くなるはずである。巨大な津波避難タワーは平時には無用の長物であり、50年程度で寿命を迎える。巨大な防潮堤なども全く同じであり、高額な維持管理費を含めて持続可能性にも大きな課題がある。老朽家屋の建替えや耐震補強も重要であり、そのためには平時から使われ、かつ、津波避難ビルなど地域にも大きく貢献できるRC造など頑強な集合住宅などを建設した方がより有効な対策であると思う。

3. 多段階のハザード評価と対策

次に可能性の極めて低い最大級規模から、可能性の高い中小規模の被害まで多段階の被害想定と、状況に応じた柔軟な対応が考慮されている事例を紹介したい。

まずは多段階の地震荷重と建物の耐震グレードの事例を紹介する。図5は多段階の地震動と建物の耐震性能グレードの説明図である（構造技術

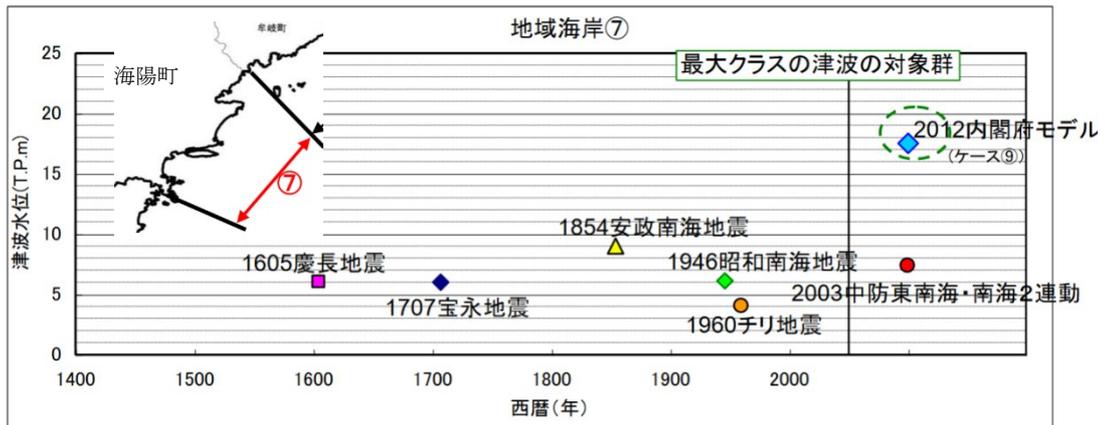


図3 想定最大級の南海トラフ地震と歴史地震による海岸の津波水位（徳島県・海陽町沿岸，2012）



図4 想定最大級津波に対応した津波避難タワー（左）と指定が解除された旧・津波避難タワー（右：徳島県海陽町，2023年12月，久田撮影）

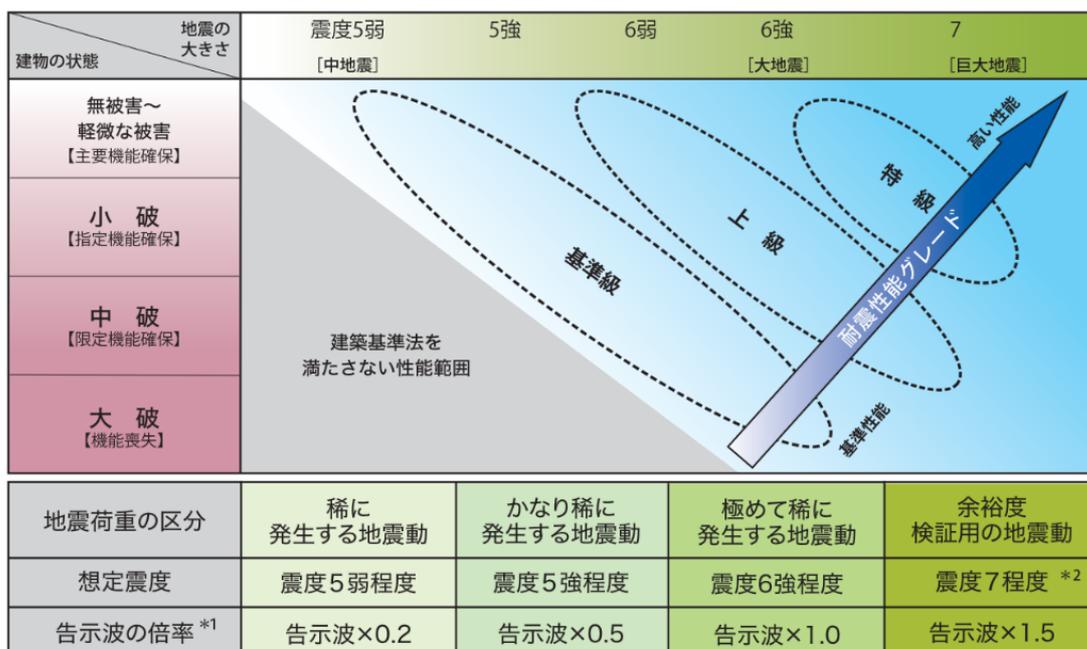
者協会, 2018). 図の横軸は地震動レベル, 縦軸は目標とする耐震性能レベルである. 図の斜めの基準級が建築基準法で定める耐震性能であり, 右上に行くほど耐震性能グレードが高くなる. 最低基準である建築基準法は, 数十年に1度程度の「稀な地震・かなり稀な地震動(レベル1)」では小破以下の被害, 数百年に1度程度の「極めて稀な地震動(レベル2)」では倒壊等で人が死なない大破程度以下の被害, がそれぞれ許容されている. 一方, 数千年に1度程度の「余裕度検証が考える地震動(レベル3)」では検討は求められない. 一方, 上級(耐震等級3など)や特級(免震など)のグレードの高い建物では, レベル1では軽微な被害以下, レベル2では小破程度以下, レベル3では中破程度以下を目標としている. このような多段階の地震動レベルと耐震設計のクライテリアを設計した耐震設計は, 重要度の高い拠点施設などで広く実施されている.

次は洪水や内水氾濫による多段階の浸水想定と対策の事例を紹介する. 津波と同様に, 国や都道府県は近年の異常気象に伴う水害の激甚化を背景として, 1,000年に1度程度の最大級の降雨による洪水浸水想定区域図を策定し, それをもとに市町村は避難行動を促すための洪水ハザードマップを公表してきた. 一方, それだけでは浸水の発生頻度と浸水程度が不明であり, 水害リスクに基づくまちづくりや住まい方の工夫, 企業の立地選択やBCPの作成等には使い難いといった課題があった. このため, 発生頻度が比較的高い降雨規模も含めた複数の確率規模による浸水範囲

や浸水深を示す新たな多段階の多段階の浸水想定図と水害リスクマップの公表を始めている(国土交通省, 2022).

最も先端的な浸水対策の取組みは滋賀県で行われている. 「滋賀県流域治水の推進に関する条例」を2014年に制定し, 中小河川を含む全ての河川洪水と内水氾濫を考慮した再現期間が10年, 100年, 200年の浸水想定図を策定した. それをもとに建築的な止水・防災対策を誘導するための「床上浸水発生確率(浸水深0.5m以上)」「家屋水没発生確率(浸水深3m以上)」「家屋流失発生確率(流体力 $2.5\text{m}^2/\text{s}^2$ 以上)」などの情報を含む住民と地域による対策を推進するための「地先の安全度マップ」を公開している(滋賀県, 2020). 特に大雨で2階まで浸水する可能性の高い地域として, 200年に一度の降雨で3m以上浸水するおそれがある区域を「特に安全な住まい方が必要なエリア(浸水警戒区域)」を指定し, 図6に示すように対象地域には住宅の嵩上げや避難場所等の整備への財政支援などの事業を実施している. 堤防やダムなどの巨大公共事業に過度に依存することなく, 住民を主体とする対策を推進している点などが津波や高潮対策でも大いに参考になる.

最後に多段階のハザード・リスクに基づくソフト的な対策例を紹介する. 危機対応ではどのような規模の災害にも状況に応じた柔軟な「オールハザード」への対応が必須となる. そのためには, 多段階の危機対応レベルと必要な対応策を事前に準備しておく必要がある. 表1は国際標準規格



* 1) 告示波とは, 平12建告第1461号の極めて稀に発生する地震動の加速度応答スペクトルに適合した模擬地震波とし, 建設地の表層地盤による増幅を考慮します. * 2) 震度7程度の地震動は, 1995年兵庫県南部地震程度を想定しています.

図5 多段階の地震動と建築物の目標被害レベル(耐震性能グレード: 日本構造技術者協会, 2018)

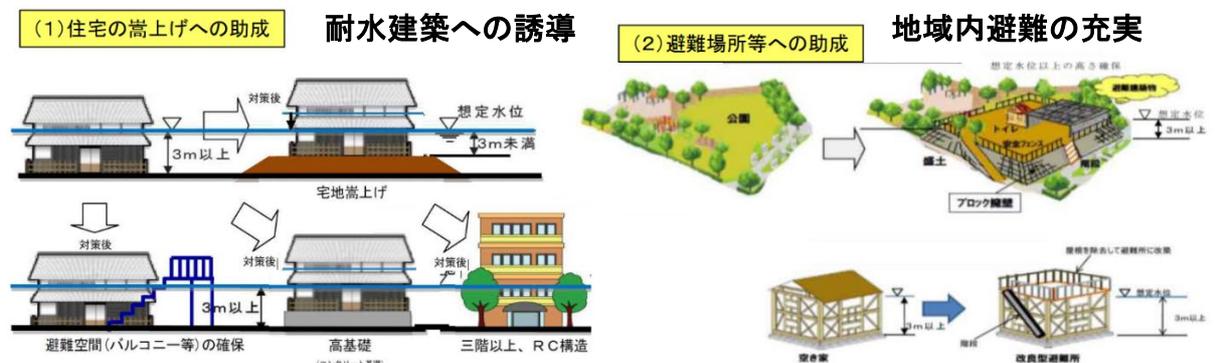
JIS Q22320/ISO 22320（日本工業規格，2013）を参考にした危機対応レベルと震災・火災・水災の想定例である（久田，2016a）．あくまでも参考例であるが，危機レベルとして現場での対応可能な日常事故のレベルから国家による対応が必要なレベルまでの5段階を設定し，状況の説明や指揮レベル，災害別の状況イメージを示している．

まずは年に数回程度のレベル1は，現場対応が可能なレベルである．例えば事故や小地震による被害で，警察や消防，あるいは施設管理者などが自前の資源で処理できる程度である．次に数年に1度程度のレベル2では，組織として対応が必要となるレベルである．大規模な事故や中規模の地

震被害などで，現場だけでは対応困難であり，組織としての資源を投入するなどの対応が必要となる．さらに数十年に1度程度のレベル3では，組織として対応が困難になり，関連組織や地域・市区町村などと連携した対応（受援・支援など）が必要となる．例えば，大地震での同時多発火災，避難者や帰宅困難者の受け入れ，備蓄品の融通などのイメージである．次に数百年に1度程度のレベル4では，さらに都道府県などより広域な連携が必要となる．巨大地震による多数の傷病者や大規模な延焼火災への対応などである．最後に数千年に1度程度のレベル5では，国家や国際的な連携による対応が必要になるレベルとしている．

表1 多段階の危機レベルと震災・火災・水災の被害設定イメージ（久田，2016）

危機対応レベル	レベルの説明	指揮レベル	震災時のイメージ	火災時のイメージ	水害時のイメージ
レベル1 (現場対応)	事前の規定に従い，担当部局の人的・物的資源で対応可能なレベル	担当部局の責任者による戦術的な指揮レベル。ときに他の部局等との戦術的連携・支援を受ける場合がある	震度4程度以下，施設は無被害，負傷者ほぼ無し	小規模な発火・煙発生など，個人レベルで対応可能	配管破損等による漏水，小規模な内水氾濫など
レベル2 (組織対応)	被災した組織(企業や施設，市区町村である基礎自治体など)がもつ資源で対応できるレベル	組織の対応責任者による戦術的指揮レベル	震度5弱～5強程度，施設はほぼ無被害，負傷者あり，帰宅困難者対応が必要	小火程度，自衛消防組織や防災センター職員での消火可能	中規模な内水氾濫，床下浸水，止水板等で対応可能，施設内の鉛直避難が必要
レベル3 (地域対応)	被災した組織がもつ資源に加えて，近隣・関連組織の相互支援の取決めによる人的・物的支援が必要となるレベル	連携した組織や地域内での戦略的な指揮が必要なレベルであり，近隣の基礎自治体(市区町村)や自治体(都道府県)との連携・支援も必要となる場合がある	震度5強～6弱程度(耐震設計L1相当)施設に軽微な被害，負傷者数十名程度(重症者数名程度)	一般の火災，公設消防による対応が必要，大規模建築では全館避難	大規模な内水氾濫，床上浸水，地域連携による鉛直・水平避難が必要
レベル4 (広域対応)	被災した組織がもつ資源に加えて，被災した管轄区内にある全ての組織からの支援による対応が必要となるレベル	基礎自治体(市区町村)だけの対応は困難となり，自治体(都道府県)や国との連携・調整・支援など戦略的な指揮が必要となるレベル	震度6弱～6強程度(耐震設計L2相当)施設に被害あり，負傷者数百名程度(重症者数十名程度)	地域単位で延焼する大規模火災，近隣地域への避難が必要	中規模のが外水氾濫・高潮など，隣接地域への水平避難が必要
レベル5 (国家・国際対応)	被災した組織を助けるため，提供されるあらゆる支援の管理が必要であり，中央政府によって二国間条約及び国際組織による協約が実施されるレベル	複数の自治体またがる戦略的指揮が必要となるレベル。自治体が機能を喪失した場合，戦略レベルによる支援，あるいは直接介入が必要になる場合がある	震度6強～7程度(耐震設計L3相当)施設に甚大な被害，負傷者数千名以上(重症者数百名以上)	都市単位で延焼する巨大火災，広域避難が必要。	大規模のが外水氾濫・高潮など，県外への広域避難が必要



基本： 1. 宅地嵩上げ浸水対策促進事業

2. 避難場所整備事業

図6 多段階リスクを考慮した建築・まちづくりによる水害対策の例（滋賀県）

4. おわりに

本報告では、想定外の超巨大地震である 2011 東北地方太平洋沖地震を契機に、海溝型地震の長期評価が従来の「固有地震」から「最大級を含む多様性ある地震」に変化したことや、それに対応して被害想定も最大級地震による過大ともいえる結果が公表されている現状を紹介した。危機管理の基本は「最悪を想定すること」であり、最大級の地震や津波等の想定が重要であることは否定できない。しかしながら、最悪の事態を強調し過ぎる「脅しの防災教育」や「恐怖アピール」は対策を諦めたり、見ないことにする、などの逆効果となる場合が報告されている（例えば、片田、2008；邑本、2018）。一方、他の分野（耐震設計や洪水・内水氾濫、危機対応）では、可能性の極めて低い最大級だけでなく、可能性の高い中小災害を含む多段階のハザード・リスク評価に基づく対策が実施されている。今後は、地震被害や津波の想定などでも最大級だけでなく、中小規模を含む多段階のハザード・リスクのレベルを設定し、それに応じた柔軟な対策を推進する必要がある。

参考文献

- 加藤照之, 2024, 「等身大の地震学」とはなんなのか? 日本地震学会モノグラフ第 7 号.
- 久田嘉章, 2016a, レジリエンスな社会構築のための被害低減策と対応力向上策の現状と事例報告, 土木学会論文集 F6 (安全問題), Vol. 72, No. 2, I_1-I_14.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejsp/72/2/72_I_1/article/-char/ja/ (2024/3/17 確認)
- 久田嘉章, 2016b, 震災・水害等による都市型複合災害の現状と課題, 日本地震工学会論文集, 第 16 巻, 第 5 号 (特集号), 12-21.
https://doi.org/10.5610/jace.16.5_12 (2024/3/17 確認)
- 地震調査研究推進本部, 2007, 主な海溝型地震の評価結果, 地震の発生確率などの評価, 全国を概観した地震動予測地図.
https://www.jishin.go.jp/main/chousa/07_yosokuchi/zu/c1-3.htm (2024/3/17 確認)
- 地震調査研究推進本部, 2019, 主な海溝型地震の評価結果.
https://www.jishin.go.jp/main/p_hyoka02L.htm (2024/3/17 確認)
- 内閣府, 2006, 東海地震による震度分布 (平成 15 年中央防災会議資料), 平成 18 年版 防災白書.
https://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/h18/bousai2006/html/zu/zu2_4_15.htm#container (2024/3/17 確認)
- 内閣府, 2012, 地表震度分布図 (基本ケース; 地域毎拡大), 南海トラフの巨大地震モデル検討会 (第二次報告) 追加資料.
<https://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitroug>
- h_info.html (2024/3/17 確認)
- 行谷佑一・都司嘉宣, 2006, 寺院の被害記録から見た安政東海地震(1854)の静岡県内の震度分布, 歴史地震, 第 21 巻, 201-217.
- 徳島県: 津波浸水想定についてについて (解説), 2012.
<https://anshin.pref.tokushima.jp/docs/2012121000010/files/kaisetu.pdf> (2024/3/17 確認)
- 日本構造技術者協会, 2018, JSCA 性能設計【耐震性能編】.
<https://jsca.or.jp/wp/wp-content/uploads/pamphlet2.pdf> (2024/3/17 確認)
- 国土交通省, 2022, 水害リスクマップ及び多段階の浸水想定図.
https://www.mlit.go.jp/river/kasen/ryuiki_pro/risk_map.html (2024/3/17 確認)
- 滋賀県, 2020, 地先の安全度マップ (床上浸水発生確率図, 家屋水没発生確率図, 家屋流失発生確率図).
<https://www.pcf.shiga.lg.jp/ippan/kendoseibi/kasenkoan/19579.html> (2024/3/17 確認)
- 日本工業規, 2013, 社会セキュリティー緊急事態管理一危機対応に関する要求事項一, JIS22320 (ISO22320).
- 片田敏孝, 2008, 今の防災教育, これからの防災教育, 消防防災、秋季剛 (26 号).
<https://www.katada-lab.jp/doc/n170.pdf> (2024/3/17 確認)
- 邑本俊亮, 2018, 情報をどのように伝えるか: 認知バイアスと恐怖アピール, 南海トラフ地震予測対応勉強会 成果・報告レポート集.
https://irides.tohoku.ac.jp/media/files/earthquake/nankai_trough/IRIDeS_NankaiTroughReport_Apr2018_09.pdf (2024/3/17 確認)

地震・津波ハザード情報とその利活用 —不確実性にどう向き合うか—

防災科学技術研究所 藤原広行

巨大災害を引き起こすごくまれな自然現象の多くは、専門家の中でも解釈に違いがあり意見が対立するなど体系的な整備が完了していない研究途上の不確実性を内包する専門知をさらに外挿することではじめてとらえられるような対象である。このため地震や津波対策に関する意思決定では、不確実さの考慮が本質的に重要となる。これら課題について、確率論的地震ハザード評価の現状、米国 SSHAC の検討事例、日本の地震保険、南海トラフの地震・津波対策におけるハザード情報の活用事例などについて考察する。

1. はじめに

地震動や津波の予測における不確実性を定量的に評価するための技術的枠組みとして有力と考えられているのが確率論的地震ハザード評価である。確率論的地震ハザード評価には、2つの段階がある。第1段階は、地震の発生そのものに関する予測であり、第2段階は、地震が発生したという条件の下での、ある地点の地震動や津波の予測である。これら予測における不確実さは、自然現象そのものに起因する偶然的なばらつきと人間の側の認識不足に起因する認識論的不確実性の2つに分類される場合がある。地震・津波ハザード情報の利活用においては、性質の異なる2つのタイプの不確実さを適切に考慮することが重要となる。特に、後者の認識論的不確実性の取り扱いが確率論的地震ハザード評価における大きな課題となっている。

2. 確率論的地震ハザード評価と地震動の予測

確率論的地震ハザード評価とは、ある地点において将来発生する「地震動の強さ」、「対象とする期間」、「対象とする確率」の3つの関係を評価するものであり、起こりうるすべての地震を確率・統計的にモデル化し、地点ごとに発生する揺れの強さに対する超過確率を計算する手法である。

超過確率 $P(Y)$ は、ある地震を想定した場合、着目地点において、その地震によりある期間内に地震動の強さがあるレベルを超える確率であり、次式により定義される。

$$P(Y) = P(Y|E) \cdot P_E(T)$$

ここで、 $P_E(T)$ は、ある期間 T 内に地震 E が発生する確率、 $P(Y|E)$ は、地震 E が発生した場合に着目地点において地震動の強さ Y を超える確率を示す。地震の発生確率と地震動の超過確率を区別することが必要である。

シナリオ型の地震動予測とは、あるシナリオ地震を想定し、その地震が発生した時の地震動を予測する手法である。断層モデルと数値シミュレーションを用いた詳細な地震動予測手法の開発も進んでおり、「震源断層を特定した地震の強震動

予測手法（レシピ）」¹⁾が、地震調査委員会によりとりまとめられている。

現状では、確率論的地震ハザード評価やシナリオ型の地震動予測には多くの不確実さが伴う。こうした地震動の評価においては、自然現象の多様性やばらつきを考慮するだけでなく、人間の側が有する知識の限界などに起因する認識論的不確実性を考慮することが必要となる。

ここであらためて、地震動の評価における不確実さをおおきく2つに分類し定義しておく。

(1) 偶然的なばらつき (Aleatory Variability)

自然現象として本質的な不確実性で、予測モデルにおいて確率変数により表現されるもの。

(2) 認識論的不確実性 (Epistemic Uncertainty)

知識やデータが不足していることに起因する不確実性で、考え方や手法選択の違いによる不確かさも含む。ロジックツリーなどを用いて表現される場合がある。

特に、これまでの地震ハザード評価においては、認識論的不確実性の取り扱いが不十分であると思われる。

3. 認識論的不確実性の事例

地震調査委員会長期評価部会では、日本周辺で発生する可能性のある地震について、発生場所・規模に加えて発生確率を評価し公表している。これら評価結果は、「主文」と「説明」に分けて公表されている。長期評価では、過去の地震記録などに基づき科学的な観点から将来発生する地震についての議論がなされているが、データの不足や解釈の違いにより評価結果が完全に一つにはまとまらない場合もある。「説明」には、そのような現状についての詳細な記述がなされている。一方で、主文においては、見解のとりまとめが行われ、有力とされる評価が示されている。こうした見解のとりまとめの過程で、専門家の間でも意見の分かれる事案についての情報の取捨選択が行われる。南海トラフで発生する巨大地震の地震発生確率²⁾について、主文においては、今後30年以内での地震発生確率が最も大きくなる時間

予測モデルを用いた値が採用されているのはその1例である。なお、説明文においては、時間予測モデルのほかに5つのケースが示され、それらケースごとに地震発生確率が計算されている。しかし、説明文において示された5つのケースについては、一般的な報道などでは取り上げられることがほとんどなく、主文で示された1つの値のみが独り歩きしているのが現状である。

こうした評価の不確実性に対して、全国地震動予測地図作成過程ではいくつかの工夫がなされている。その具体例として2種類の地図が作成されている。地震活動の評価においては、「平均活動間隔」や「最新活動時期」の評価結果に幅がある場合が多いので、活断層で発生する地震については、評価結果の中央の値を代表値として地震発生確率を計算する「平均ケース」と、評価された確率の最大値を用いる「最大ケース」とを各々考えている。これらをもとに、「平均ケース」と「最大ケース」の地図がそれぞれ作成されている。

また、長期間の平均的な地震ハザード評価も実施されている。その中では、以下のようなモデルが採用されている。

- ・全ての地震活動をポアソン過程でモデル化する。平均地震発生間隔は、「平均ケース」を用いる。
- ・南海トラフ沿いの大地震の平均地震発生間隔は、南海トラフの過去の地震活動のうち1361年の正平（康安）地震以降（1605年の慶長地震を含む）の発生時期に基づき116.9年とする。
- ・相模トラフ沿いのM8クラスの地震の平均地震発生間隔は、1293年元仁関東地震、1703年元禄関東地震、1923年大正関東地震の発生時期から求められる315年とする。

特定のシナリオに基づいて地震が発生したという条件のもとでの地面の揺れの分布を推定する強震動評価においても、自然現象そのものに起因する偶然的ばらつきや人間の側の認識不足に起因する認識論的不確実性が存在する。ばらつきや不確実性の定量的な評価に関しては研究途上の部分が多く、地震調査委員会強震動評価部会でまとめられている「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（レシピ）」においても、平均的な地震動の予測手順についての具体的な記述にとどまっており、偶然的ばらつきや認識論的不確実性の評価方法については、それらを評価することの必要性については認識されているものの、具体的な評価手順の検討については今後の課題とされている。

また、観測記録に基づく経験的な地震動予測式においても、観測データの不足のため、巨大地震の断層近傍域での予測においては予測式間での差が大きくなる場合がある。地震動予測式は観測記録に担保されたモデルだが、本来予測しなければならない稀な事象はまだ観測されていない場

合が多く、巨大地震の断層近傍の地震動や平野部での長周期地震動などの予測においてはデータが不足している。このため、実際の予測では、地震動予測式の外挿領域での予測が必要となり、認識論的不確実性が大きくなる。実際、外挿領域では、既存の地震動予測式間での平均値の差が大きい。これらは、データが不足していることに加え、統一的なデータベースが存在しないことが一因となっている。強震動評価における認識論的不確実性の軽減に向けて、観測データの統一的なデータベース構築などの提案もなされている。

地震動ハザード評価における専門知の構造は、下記のような概念図（図1）で表現できると考えられる。

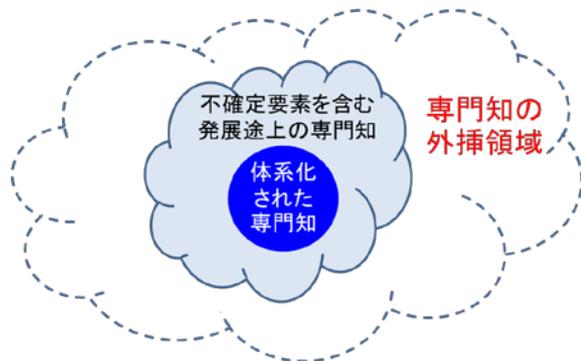


図1 地震動ハザード評価における専門知の構造

低頻度大規模災害につながるような自然現象については未知の部分が多く、その予測は「専門知の外挿領域」での判断が必要になると思われる。

4. 米国 SSHAC の取り組みの事例

地震ハザード評価における認識論的不確実性の克服は重要な課題として認識されており、各国で検討が進められている。米国においては、Senior Seismic Hazard Analysis Committee (SSHAC) と呼ばれる委員会が米国原子力規制委員会の下に設置され、確率的な地震動評価で必要になる認識論的不確実性について検討が行われている。それら検討結果に基づき、SSHAC ガイドライン (NUREG-2117) が制定され、専門家コミュニティにおける意見分布を合理的・客観的に再現するための方法論がまとめられている。SSHAC ガイドラインでは、対象とする設備の重要度や不確かさの程度に応じて4つのレベルが設定されているが、特に実効性が高いとされ世界的に検討が進んでいるSSHAC レベル3ガイドラインによる議論の進め方の特徴は、(1) 認識論的不確実性に関し、学术界・技術界における意見の全体像を、意見の中央値・分布・範囲を示すことにより偏りなく提示する、(2) テクニカル・インテグレイターチームの討議により、科学的・技術的に正当性ある見解を提示する、(3) 公開ワークショップにより、プロジェクトの進捗内容

を説明し、かつ外部の専門家の意見を最大限に吸収してプロジェクトの討議に反映する、こととされている。

四国電力株式会社と電力中央研究所原子力リスク研究センターによる伊方発電所 3 号機の安全性向上に向けた自主的な取り組みとして、日本では最初の SSHAC レベル 3 ガイドラインに基づく確率論的地震ハザード評価³⁾が実施されている。

5. 地震保険における利活用事例

地震保険は、地震・噴火またはこれらによる津波を原因とする火災・損壊・埋没または流失による被害を補償する地震災害専用の保険であり、対象は居住用の建物と家財とされている。地震等による被災者の生活の安定に寄与することを目的として、民間保険会社が負う地震保険責任を政府が再保険している。再保険金の総額は、毎年度、国会の議決を経た金額を超えない範囲内。現在、その金額は 11 兆 8,083 億円であり、民間保険責任額と合計した 1 回の地震等による保険金の総支払限度額は 12 兆円となっている。

損害保険料率算出機構が地震保険の基準料率を算出しており、地震保険料率は、長期的な収支相償を前提とした長期間の平均的な地震リスクを評価することで決められている。その際に、確率論的地震動予測地区の作成に用いられている震源情報のうち、震源断層・地震規模・平均発生間隔が利用されている。

「南海トラフ沿いの大地震」「相模トラフ沿いの M8 クラスの地震」については、予測地区の長期間平均の地震動ハザードマップで使われている平均発生間隔を利用されている。南海トラフ沿いの大地震の平均地震発生間隔としては、南海トラフの過去の地震活動のうち 1361 年の正平（康安）地震以降（1605 年の慶長地震を含む）の発生時期に基づき 116.9 年が用いられている。また、相模トラフ沿いの M8 クラスの地震の平均地震発生間隔は、歴史上の記録から確認される 1293 年永仁関東地震、1703 年元禄関東地震、1923 年大正関東地震の発生時期から求められる 315 年が用いられている。「南海トラフ沿いの大地震」「相模トラフ沿いの M8 クラスの地震」では複数パターンの地震が設定されているため、全パターンを合わせた際の平均発生間隔が上記の年数となるように、各パターンの重みに従って発生頻度（平均発生間隔の逆数）を分配する形で各パターンの地震の平均発生間隔を設定されている。

6. 津波ハザード情報の利活用事例

地震や津波対策に関する意思決定では、適切な地震シナリオを想定し具体的な被害想定を行うことが必要となる。リスク管理の主体がその目的に応じて、ばらつきや認識論的な不確実性を伴う

ハザード情報を適切に解釈し、自らの責任で線引きや情報の取捨選択を行うことが必要となる。こうした意思決定のためにはハザード情報の指標化が重要である。南海トラフの地震・津波ハザード情報を用いた検討事例を紹介する。

藤原・他⁴⁾は、将来発生する南海トラフ地震の多様性を考慮して 3,480 個の断層モデルを設定し、各モデルに対して津波シミュレーションを行っている。津波シミュレーションの結果から、太平洋沿岸の各地点（50 m メッシュ間隔）での確率論的津波ハザードカーブ（ある地点に来襲する津波の高さとその超過確率の関係を示した曲線）を作成している。四国沿岸に影響する津波はほぼ南海トラフ地震のみに限定されると仮定でき、堤防施設の確率論的評価では、南海トラフ地震が発生したという条件のもとでの津波ハザード、つまり、「発生条件付きハザードカーブ」を用いることが有効となる。「発生条件付きハザードカーブ」は、「南海トラフ地震が発生した」という前提条件のもと、「地震発生時、ある地点である津波高を超過する確率」を示す（図 2）。

藤原・他は、津波ハザードカーブを作成する地点を、海岸沿いの 50 m 計算格子ごとに設定している。堤防データに対して最も近いハザード評価点を紐付けし、その地点のハザードカーブから堤防の高さに対応する超過確率を算出している。堤防の津波対策レベルの評価は、以下の式で行う

$$\begin{aligned} & \text{津波防御率 (\%)} \\ &= \text{発生条件付き非超過確率 (\%)} \\ &= 100 - \text{発生条件付き超過確率 (\%)} \\ &= 100 - 30 \text{年超過確率 (\%)} / 0.743 \end{aligned}$$

この「発生条件付き非超過確率」は、「堤防により浸水被害を防御できる確率」とも言い換えられ、南海トラフ地震に対する整備レベルの指標となる。

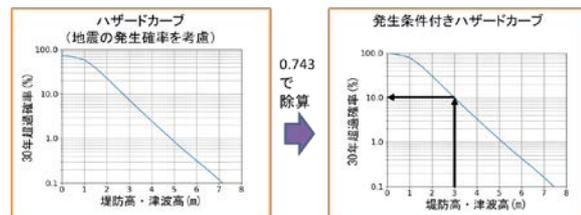


図 2 発生条件付きハザードカーブの例。この例からは、堤防高 3.0m の時、津波が乗り越える確率は 10.0%。堤防高 3.0m の時、津波を防げる確率は 90.0%となることわかる。

7. 不確実さを内包した専門知の活用の課題

確率論的地震ハザード評価を構成する各種情報群は、防災対策や損害保険でのリスク評価等で日本国内のみならず世界中で使われている。全国地震動予測地区における地震ハザード評価の過程には、地震本部の有する評価情報（長期評価・

強震動評価)をはじめ認識論的不確定性として扱われるべき情報が多く存在しており、近年の国内外の動きも踏まえると、認識論的不確定性を適切に考慮した場合のハザードの分析や可視化が重要な課題となっている。地震ハザード評価に係る情報群の国内外における適切な利活用を促すため、認識論的不確定性を考慮した地震ハザード基盤モデルの構築と情報発信を行うことが重要と考えられる。このためには、地震ハザード評価における認識論的不確定性の扱いについて、国外を含む先行の取り組みを参考に、独立性・透明性のある議論を行うための仕組みづくりが必要となる。震源モデル・地震動予測モデルそれぞれについて認識論的不確定性を考慮すべき項目のロジックツリーを整理し、ハザードの分析と可視化を行い、得られた幅のあるハザード分析結果を整理するとともに、情報発信の方法を検討することが必要と考える。

また、地震対策に関する意思決定では、シナリオ型の評価に基づいた手法が採用されている場合が多い。この場合、地震対策を立案するためには、適切な地震シナリオを想定し具体的な被害想定を行うことが必要となる。リスク管理を行う主体にとっては、適切な地震シナリオの設定とそれに対する定量的なリスク評価が重要となる。これらプロセスにおいては、リスク管理の主体がその目的に応じて、ばらつきや認識論的な不確定性を伴うハザード情報を適切に解釈し、自らの責任で線引きや情報の取捨選択を行うことが必要となる。リスク管理のレベルに応じて、注目すべきばらつきの程度や認識論的な不確定性の扱いが異なる可能性があるためである。しかし現実問題としては、リスク管理者が不確実性を内包する専門的なハザード情報を適切に解釈することは困難な場合が多い。低頻度巨大災害に関するハザード評価は、専門知として体系化され確立された方法論で分析できる対象とは程遠いのが現状である。巨大災害を引き起こすごくまれな自然現象の多くは、専門家の中でも解釈に違いがあり意見が対立するなど体系的な整備が完了していない研究途上の不確実性を内包する専門知をさらに外挿することではじめてとらえられるような対象である。このような状況下では、個別事象への対処方法に関して専門家の意見が対立することも多数生じうる。不確実性を内包する専門知は「わかりにくい」情報である。このため、リスク管理に必要な判断を、それら専門知に精通した特定分野の専門家にゆだねる傾向が強い。しかしそれらは、専門家にとっても共通の理解には達していない研究途上のものである。この「わかりにくさ」を社会全体で共有し、課題解決に向けて多様な観点からの議論を踏まえた合意形成を実現するための仕組みづくりが重要である。

参考文献

- 1) 地震調査委員会, 2020, 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」).
- 2) 地震調査委員会, 2013, 南海トラフの地震活動の長期評価(第二版).
- 3) 亀田弘行・隈元崇・藤原広行・奥村晃史・佃栄吉・堤英明・堤浩之・遠田晋次・徳山英一・蛭沢勝三・香川敬生・司宏俊・古村孝志・三宅弘恵・森川信之・奥村俊彦・宮腰淳一, 2020, 伊方 SSHAC プロジェクト最終報告書
- 4) 藤原広行, 平田賢治, 中村洋光, 森川信之, 河合伸一, 前田宜浩, 大角恒雄, 土肥裕史, 松山尚典, 遠山信彦, 鬼頭直, 大嶋健嗣, 村田泰洋, 齊藤龍, 澁木智之, 秋山伸一, 是永眞理子, 阿部雄太, 橋本紀彦, 袴田智哉, 大野哲平, 2022, 南海トラフ沿いの地震に対する確率論的津波ハザード評価 一第一部 本編一, 防災科学技術研究所研究資料, No. 439, pp. 1-575.

不確実性・多様性・柔軟性，そしてアロケーション

京都大学防災研究所 矢守克也

南海トラフ地震については、無数の災害発生シナリオのうち「最大クラス」のシナリオだけが注目され考慮される傾向にある。しかし、効果的な対策のためには、「大は小を兼ねない」ことがあることを認識し、ハザード予測の「不確実性」とシナリオの「多様性」を考慮する必要がある。アプリ「逃げトレ」を通して様相の異なる複数のシナリオを体感し、避難行動の「柔軟性」を高めることが、課題解決へ向けた一助となる。また、確率表現を伴ったハザード情報については、確率情報本体に対する理解度の問題以前に、情報の受け手を、複数の選択肢に対して何らかの資源を確率に応じて「アロケーション」することができる状態に置くことが先決である。

1. 「最大クラス」の光と陰

災害現象の予測には、「不確実性」が伴う。大雨など、より発生頻度の高い現象ですらそうであるから、地震・津波などの稀少現象ではなおさらである。しかし、現在大きな社会的関心を集めている南海トラフ地震については、無数に想定される発生シナリオ群のうち、いわゆる「最大クラス」のシナリオだけが幅を利かせ、ハザード予測の「不確実性」や発生シナリオの「多様性」は等閑視される傾向にある。これには、もちろん理由がある。東日本大震災について、巨大な地震・津波を十分想定しえなかったことに対する社会的批判が根強いからだ。また、「大は小を兼ねる」というコモンセンスが一定の妥当性を持っていることも事実である。

しかし、10年以上にわたって、南海トラフ地震・津波が懸念される地域（高知県など）で防災活動にあたってきた筆者の経験に照らすと、「最大クラス」の一点張りには、少なくとも光も陰もあることは指摘せざるを得ない。「最大クラス」には、防災対策を強力に牽引し成果をあげてきたという功の部分とともに、見逃せない罪の部分も付きまとっている。それを象徴する印象的なフレーズがあるので紹介しておこう。

『避難をあきらめ、街をあきらめる』。あまりに深刻な「最大クラス」の想定を前に、逃げることを断念したり、「ここでは安心して子育てできない」と故郷を離れたりする人たちがいる。そのために、人口減や過疎・高齢化に拍車がかかっている。東北地方を中心に大震災後人口減が深刻化している地域が存在するが、今南海トラフ地域で起きているのは、実際に被災する前に生じている人口減で、被災ではなく「被災の予想」が原因となった人口減である。これは『震前過疎』とも称されている。言葉をかえれば、こうした地域は、「最大クラス」という、とてつもなく深刻な想定によってすでに『疑似被災』しているのである。

「最大クラス」一辺倒がもたらす課題は、具体的な対策レベルでも指摘しうる。たとえば、津波に対する避難場所の設定や避難意向に対する悪影響である。発生確率としては極めて小さくても、

想定として公表されている以上、地元自治体としては「最大クラス」の津波でも絶対に到達しないと考えられる場所しか避難場所として指定しづらい。そのため、「あんな遠くの高い山の上まで行くのは私たちにはとても無理、もうあきらめた」といった声が、高齢者や障害者などから多く上がっている。被害軽減上最も肝心なのは「避難行動要支援者」であるにもかかわらず、である。

他方で、「最大クラス」以外のシナリオであれば十分に通用する避難先、たとえば、3.11以前は自治体の指定避難場所にもなっていた学校の3階建ての校舎などが、避難場所としては見向きもされず放擲されているケースもある。「あきらめた、もう何もしない」よりは生存確率をはるかに高める「セカンドベスト（次善）」（矢守, 2021）の選択肢が、残念なことほとんど考慮されていないのだ。「最大クラス」から受けた衝撃はさぞかし大きかったであろう。それは十分理解できるのだが、現行の計画がハザード予測の「不確実性」や災害発生シナリオの「多様性」を考慮した「柔軟性」をもったプランになっているかと言えば、大いに疑問が残る。

2. 「大は小を兼ねない」こともある

1節で述べたことは、別言すれば、地震・津波からの避難という課題に関する限り、必ずしも「大は小を兼ねない」ということでもある。3.11という悲劇は、「小なる予想のもとで大なる現実」が襲って生じたケースであり、これはもちろん大きな不幸を生む。しかし、「大なる予想のもとで小なる現実」が生じて、つまり、実際に生じた地震・津波が、予測し警戒していたものよりも小さかった場合にも不幸は起きる。

たとえば、先述の通り、大なる予想が生む「あきらめ」は、わずかの努力で実現できる避難行動（自宅の2階に上がるなど）で助かったはずの命をも失わせる可能性がある。「最大クラス」を想定した訓練の通り、遠くの高台まで数百メートルの平地を移動しているところに（数十メートルならぬ）1メートルの津波が襲い、「こんなことなら、避難所指定から外れた近くの学校で十分だっ

率情報が地震学において導出された経緯や意味を市民は「正しく理解」しているか、何らかのバイアスを伴って理解していないか。また、特に「30年確率 0.2%」など著しく低い数値の場合、その確率は実感をもって受けとめられるのか。そして、以上を踏まえて、風水害や日常的な事故など馴染みのある事象が発生する確率と並置して地震発生確率を伝えることが有効なのではないか。

筆者は、こうした確率そのものに関する認知や理解をめぐる既成の議論よりも、別次元のことが重要ではないかと考えている。それは、確率表現を伴った情報が有用なのは、その情報を受け取る側に、以下の3つの条件が揃っている場合だということだ。(1) その人に対して採りうる「複数の選択肢」が開かれており、(2) それら複数の選択肢に対して、何らかの資源(経費, 人員, 時間等)を当該の確率情報を頼りに「アロケーション」(配分や割り当て)することことができ、(3) それを通して「全体の最適化」を図ることが要請され、また可能である場合、である。

いくつか例示しておこう。国レベルで学校施設の耐震化工事を推進している政府関係者にとっては、無数の学校(校舎)に優先順位を付け、限られた予算を適切に配分する作業が必須である。当然、どの地域の地震発生確率がより高い(低い)かは「アロケーション」にとってきわめて重要な情報で、それが「全体の最適化」にも資する。地震保険の価格設定を行っている損害保険会社の担当者も、同様のロジックで業務にあたっているだろう。あるいは、台風接近時にダム操作の任にある人も、降水量予測という確率情報と首っ引きで、放水量や貯水量の最適な「アロケーション」(複数の水源等の間で、あるいは、今日と明日との間で)を実現しようとするだろう。

以上のように、確率付きの情報を重宝している(あるいは、重宝できる)のは、上の3つの条件を満たす条件下で活動(主として、仕事)している人(のみ)である。しかし、市民の多くがそうではないことに思い至るべきである。たとえば、仮に、「あなたが暮らす地域Xには、A断層が引き起こす地震が発生する可能性があります。30年間の発生確率は0.5%です」といった情報が公表されていても、ごく普通の住民にはそこに居続ける以外には選択肢が存在しないことが多い。

もちろん、「地域XとY、どちらに住むか、ちょうど考えていました」、「手元にある100万円を海外旅行に使うか自宅の耐震化工事に使うか家族会議の最中でした」など、例外はありうる。しかし、これらは幸運・幸福な例外事例と言えし、確率情報が真価を発揮して適切な「アロケーション」がなされ「全体の最適化」が図られているというニュアンスは、上掲の典型的な事例群と比べると明らかに弱い。

以上からわかることは、確率を伴ったハザード情報については、仮にそれを自治体や市民と十全にコミュニケーションすることを目指すのならば、情報本体に関するわかりやすい説明や確率概念自体に関する適切な理解の醸成といった事項もさることながら、それ以前に、自治体や市民を、複数の選択肢に対して何らかの資源を「アロケーション」できるような状態に置くこと、また、そのための支援をすることが不可欠である。

ここで、前節までの議論に立ち戻ってみると、「複数の選択肢」に対するリソースの「アロケーション」の議論と、南海トラフ地震における「最大クラス」ありきからの脱却という論点とがシンクロしていることがわかる。たとえば、「最大クラス」の地震・津波を念頭に置いた避難場所A(または避難方法A)だけでなく、それより小さな規模の地震・津波を念頭に置いた避難場所B(または避難方法B)も含めて、これら2つ(以上)の選択肢を考慮するという姿勢は、まさに「複数の選択肢」の話である(和歌山県など、一部の自治体でそのような試みがすでになされている)。その上で、AとB、2つの地震・津波の発生確率の大小に応じた、さまざまな「アロケーション」を構想しうる。それぞれのタイプの避難場所の整備に費やすリソースの「アロケーション」、あるいは、それぞれのタイプの避難訓練に充てる時間やエネルギーの「アロケーション」など、である。

このような対応が講じられてはじめて、確率情報は、理解可能(understandable)かどうかについてあれこれ議論するステージを超えて、実践可能(workable)かどうかを問題にできるステージへと移行できる。

参考文献

- 土肥裕史・中村洋光・藤原広行・前田宜浩・矢守克也・杉山高志, 2022, 南海トラフ巨大地震の発生の多様性を考慮した津波遡上計算とその利活用に向けて—概要と利活用事例の紹介—月刊地球, 44(5), 283-288
- 大西正光・矢守克也・大門大朗・柳澤航平, 2020, リグレット感情を考慮した津波避難—リグレットマップ作製の試み—災害情報, 18, 59-70.
- 杉山高志・矢守克也, 2019, 津波避難訓練支援アプリ「逃げトレ」の開発と社会実装—コミットメントとコンティンジェンシーの相乗作用—実験社会心理学研究, 58, 135-146.
- 矢守克也, 2021, 防災心理学入門—豪雨・地震・津波に備える—ナカニシヤ出版
- Yamori, K. & Sugiyama, T., 2020, Development and social implementation of smartphone app Nige-Tore for improving tsunami evacuation drills: Synergistic effects between commitment and contingency. International Journal of Disaster Risk Science, 11, 751-761.

地震発生の確率とは何を意味するのか

東京大学 平田直

地震や地震動の発生を評価するときに「確率」が用いられている。これは、不確実性を伴う事象を定量的に評価するには、確率による表記が最も適しているからである。一方、確率の概念は一般には分かりにくいと考えられ、確率を用いた表現は防災情報としては不適切であるとの意見がある。小論では、確率を用いたモデルを複数の観点から考察することで、何故確率を用いるか、確率モデルによって表現される数値は何を意味するかを考え、確率による情報が防災情報として役立つことを示す。

1. はじめに

地震調査研究推進本部（以下、地震本部）は、1995年に発足して以来、地震の長期評価と、地震動の予測を行っている（地震本部地震調査委員会、2021）。この予測は、防災の情報として、将来どのような地震が発生し、どのような強い揺れに見舞われるかを科学的に整理し、市民、産業界、自治体、国等の地震防災に資するために出版されている。とりわけ、地震本部が発足した1995年の阪神・淡路大震災時には、関西では大地震が発生して大きな震災は発生しないという、科学的には全く根拠のない風聞があり、関西地域では災害への備えが不十分であった。このことが大きな契機となり、地震本部が発足した。発足当時の地震本部が最初に目指したのが「全国地震動予測地図」の作成で、その前提として地震発生の長期評価を行った。2005年には、地震動予測地図の第一版「全国を概観した地震動予測地図」が出版された。この地図は、科学的データに基づいて、「全国どこにも強い揺れに見舞われない場所は無い」、つまり「全国どこでも強い揺れになる可能性がある」ということ示している。しかし、確率で地震の発生の可能性を示すことの意味を理解するのは難しいとの声をよく聞く。小論では、確率に関する理解を深めるために、確率で表される事象を色々な面から見ることを試みる。

2. 不確実な現象の予測

社会一般では、「地震予知」への関心が高い。しかし、防災情報としては「地震予知はできない」とされている。例えば、国の南海トラフ沿いの地震活動についての見解では、「現時点においては、地震の発生時期や場所・規模を確度高く予測する科学的に確立した手法はなく、大規模地震対策特別措置法に基づく警戒宣言後に実施される現行の地震防災応急対策が前提としている確度の高い地震の予測はできないのが実情である。」（中央防災会議 防災対策実行会議 南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく防災対応検討ワーキンググループ、2017）とされた。しかし、一定の仮定のもと、データに基づいて地震の発生の時期と

規模を予測することは行われている。この予測では、予測の結果が不確実であることを明示的に示すために、確率という指標が用いられている。確率を用いるのは、将来の予測を不確実性も含めて定量的に記述できるからである。小論では、議論を単純化するために、時期の予測に絞って考察する。

もし予測を不確実性なく行うことができれば、何年後に地震が発生するというような決定論的な言い方ができる。これが、地震予知である。しかし、10年後に起きると思うが、もしかすると9年後かも11年後かもしれないときには、10年後に地震が発生するとは言い切れない。「10年後に発生する可能性が高い」というのである。「可能性が高い」という表現は、10年後以外にも発生することを意味する。確率の表現では、10年後に発生する可能性だけでなく、1年後、2年後、……、10年後、11年後、20年後などに発生する可能性を同時に表現して、その中で、10年後に発生する確率が、他の年より可能性が高いと示すのである。つまり、発生する可能性のある年がただ一つであるわけではなく、他の年にもなることが不確実性を定量的に示すことになる。何年後に発生するかの可能性の分布が確率の分布である。何年という数字は、実は1年未満の値にもなりうるので、連続した実数 t である。ある時刻の瞬間で地震が発

確率

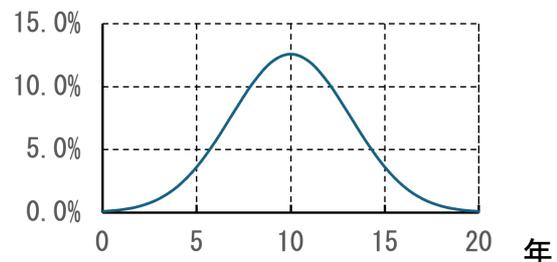


図1. 確率密度関数の例. ここでは、正規分布（平均10年、標準偏差 $\sqrt{10}$ 年）を示す。

生する確率を表す関数を確率密度関数 *pdf* (*probability density function*) という。この関数の重要なことは、分布に広がりがあるということである。予測が決定論的であれば、分布には広がりがなく、スパイク状 (δ 関数) になる。*pdf* の形を特徴付けるのは、最も確率が高くなる t_0 と、分布の広がりである。よく用いられる確率分布である正規分布では、平均と分散 [= (標準偏差)²] という 2 つのパラメータを与えれば、分布が一意的に定まる。図 1 に、平均 10 年、標準偏差 $\sqrt{10}$ 年の正規分布を示す。分布が与えられれば、最も起こりそうな値 (この例では 10 年) もその不確実性 (この例では、標準偏差 = $\sqrt{10}$ 年) も数字で示すことができる。これが、確率表現の利点である。

さらに、この関数 *pdf* が分かると、ある時刻 (t) とある時刻 ($t + T$) の間の期間 (T) で発生する確率 $P(t, t + T)$ が計算できる。さらに、ある期間内に何回地震が発生するか の頻度分布も予測することができる。次節では、これを具体的に示す。

3. 時間的にまれに起きる現象の確率

地震は時間的にまれに起きる現象であり、ポアソンモデルで表すことができる。ここでモデルと表現したが、時刻歴が得られる事象の発生する確率や頻度についての全体をモデルと言うことにする。このモデルの中心概念は、ポアソン過程という確率過程であるが、確率過程の正確な説明は割愛する。

ポアソンモデルを用いると、一度地震が発生した後、何時間後に地震が発生しやすいかと、発生時期の不確実性を定量的に示すことができる。

ポアソン過程では、地震が発生してから t 時間後に地震が発生する確率密度 $p(t)$ は、指数分布

$$p(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad 0 < t < \infty \quad (1)$$

になる。ここで、 λ は平均発生頻度 (= 1/平均発生間隔) である。

また、一定時間 (T) 内に事象が発生する回数 (N_T) はポアソン分布

$$P(N_T = n) = \frac{1}{n!} (\lambda T)^n e^{-\lambda T} \quad (2)$$

に従う。

これらの数式を使うと、いくつかの興味深い事実が理解できる。例えば、平均の発生間隔 ($1/\lambda$) が 30 年の地震発生時系列 (発生モデル) について、対象とする時間の間隔 (ΔT) を横軸に、確率の値を縦軸にしたグラフは図 2 の様になる。このモデルを決めるパラメータは過去の地震の平均発生頻度 ($\lambda = 1/\text{平均発生間隔}$) だけである。このグラフから、10 年以内に発生する確率は 28%、30 年なら 63%、50 年なら 81% となることが分か

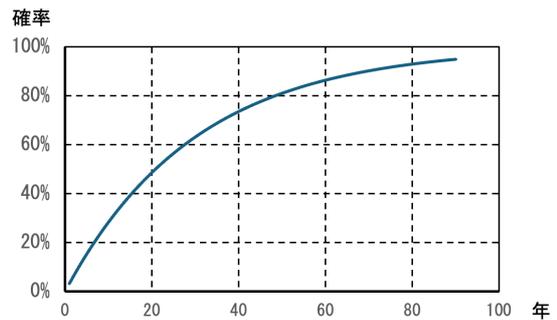


図 2. ポアソン分布で発生する地震が、対象とする時間の間 (ΔT) で発生する確率。

る。極端な場合、 ΔT がゼロに近づけば確率はゼロに、 ΔT が無限大になれば 100% である。つまり、地震は長時間を考えれば必ず発生することを意味する。

なお、ポアソン過程では、発生頻度の平均値は λ になると同時に、発生頻度の分散も λ になる。つまり、平均発生間隔が 30 年のポアソン過程では、発生間隔の分散も 30 年、標準偏差 (分散の平方根) は $\sqrt{30} = \text{約 } 5.5$ 年である。

この確率過程に従うモデルでは、一定期間 (t_0) 地震が発生しないで、その後の ΔT の間 ($t_0 \sim t_0 + \Delta T$) に発生する確率 $P(\Delta T, t_0)$ は t_0 に依存しない。つまり、 ΔT を変えなければ、確率は一定値 = $P(\Delta T)$ になる。地震がしばらく起きなくても、今後 ΔT に起きる確率は変わらない。

確率のモデルを使うと一定期間に発生する地震数の分布を計算することができる。つまり、今後 ΔT に地震が起きる回数は 1 回だけではなくて、複数回あり、その確率が示せるのである。

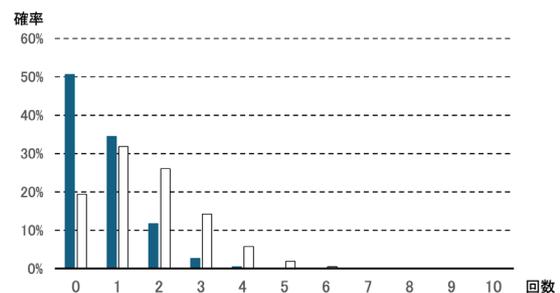


図 3. 30 年以内に発生する地震の回数の発生確率。■ 30 年以内に発生する確率 50% の地震 (A), □ 30 年以内に発生する確率 80% の地震 (B)。

図 3 に、30 年以内に 50% の確率で発生する地震 (A) と 80% の地震 (B) が 30 年以内に発生する回数の確率を示す。両者ともポアソン過程に従うとする。この図から分かることは、30 年以内に 1 回 (だけ) 起きる確率は、二つのモデルでほぼ同じ約 30% であることが分かる。地震 (A) の確率の方がわずかに高い。2 回発生する確率は地震 (B)

の方が大きくなる。3回発生する確率は、地震(B)の方が有意に大きい。ポアソン過程で発生する地震の発生確率が大きいということは、何度も発生する可能性が高いということである。

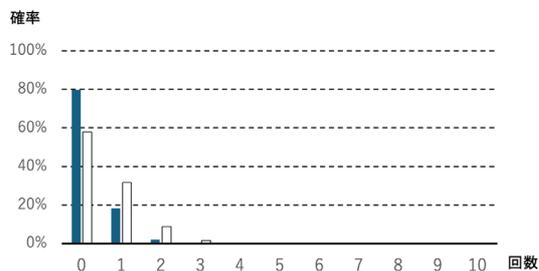


図 4. 10 年以内に発生する地震の回数の発生確率。■ 30 年以内に発生する確率 50%の地震 (A), □ 30 年以内に発生する確率 80%の地震 (B)。

次に、30 年以内に 50%の確率で発生する地震 (A) と 80%の確率で発生する地震 (B) が 10 年以内に発生する回数の分布を図 4 に示す。図 3 と図 4 の地震 (A) と (B) の平均発生間隔それぞれは同じである。これらの地震が 30 年以内に発生するか、10 年以内に発生するかの違いである。10 年以内に発生する確率は、地震 (A) ではほぼ 1 回だけ、地震 (B) でも、2 回発生する可能性は 1 回発生する確率の半分になる。

以上の考察から、ポアソン過程に従うと仮定すると、地震がどのように発生するかを理解することができる。これは、いつ地震が発生するかを「予知」するのではなく、色々な可能性があることを、定量的に示すということで、不確実性を定量的に理解できるという点で意味がある。

3. 結論

小論では、簡単のためにポアソン過程に従う地震発生について考察した。単に、〇〇年以内に〇△%の確率で発生するというだけでなく、もう少し多面的に確率の意味を考察すると色々なことが分かる。小論では論じなかった重要なこととして、地震の発生はポアソン過程ではなくブラウン時間経過 (BPT : Brownian Passage Time) モデルに従うという考えがある。このモデルでは、地震が発生すると次の瞬間には発生確率はゼロになるというものである。これはかなり極端な単純化だと思うが、大地震が発生するとしばらくはもう発生しないという一般には理解されやすい考えと一致している。しかし、これは、ポアソンモデルと同様に、地震現象のある一面をみているに過ぎないことを付記する。BPT モデルでも、対象とする期間(ΔT)が小さければ確率は小さくなり、大きくすると確率が大きくなる性質は同じである。ただし、対象期間に地震が発生する回数の分布は、ポアソン過程の場合と異なる。この場合で

も、単に確率の数字にとらわれずに、多面的に理解することが重要である。

参考文献

地震本部地震調査委員会, 2021, 全国地震動予測地図 2020 年版 地図編 確率論的地震動予測地図 全国版地震動予測地図

https://www.jishin.go.jp/main/chousa/20_yosokuchi/zu/yosokuchizu2020_chizu_10.pdf (2024 年 4 月 9 日閲覧)

中央防災会議 防災対策実行会議 南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく防災対応検討ワーキンググループ, 2017, 南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく 防災対応のあり方について (報告)

https://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taio_wg/pdf/h290926honbun.pdf (2024 年 4 月 9 日閲覧)

南海トラフ地殻活動の現状把握と推移予測の高精度化・即時化 に向けて

海洋研究開発機構海域地震火山部門 小平秀一

防災科学技術研究所地震津波防災研究部門 藤原広行

防災科学技術研究所南海トラフ海底地震津波観測網整備推進本部 海洋研究開発機
構海域地震火山部門 高橋成実

「防災対策に資する南海トラフ地震調査研究プロジェクト」推進チーム¹

将来の南海トラフ巨大地震に備えるために科学的情報の高精度化や即時発信、情報の適切な活用が求められるなか、2020年度より5カ年計画で「防災対策に資する南海トラフ地震調査研究プロジェクト」が進められている。本プロジェクトでは、最新の観測データに基づき地殻活動の現状把握と推移予測に関するシステム構築（地殻活動情報創成研究）、それらの情報を被害軽減に活用するための対策や実行の仕組みの構築（地震防災情報創成研究）、それら対策の自治体等への社会実装（創成情報発信研究）を目的としている。本論文では、地殻活動情報創成研究の内容を中心に本プロジェクトの目的とこれまでの成果の概要を述べる。

1. はじめに

南海トラフにおいては国難級の巨大地震の発生が危惧されているとともに、過去に発生した巨大地震の多様性が指摘される。2020年度より5カ年計画で進められている「防災対策に資する南海トラフ地震調査研究プロジェクト」では、科学的・定量的なデータに基づき、地震活動・プレート固着状態の現状を把握するとともに、これまでとは異なるゆっくりすべり等が発生した際に、その活動と今後の推移に関する情報を迅速かつ精度よく評価し、情報発信する手法の開発を進めている。また、発信された情報を被害軽減に最大活用するため、住民・企業等の防災対策のあり方、防災対応を実行するにあたっての仕組みについて研究を進めている。さらに、自治体等と連携し、本プロジェクトの研究結果が被害軽減の向上にどのように貢献したか定量的な評価を行い、防災・減災計画に向けた効果的な研究開発項目を明らかにしていく。これらの目標達成に向けて、本プロジェクトでは「地殻活動情報創成研究」、「地震防災情報創成研究」、「創成情報発信研究」の三つの研究課題を立ち上げた。以下では、プロジェクトの概要とこれまでの成果をプロジェクト情報ページより抜粋し報告する。

2. 地殻活動情報創成研究

本研究課題では南海トラフの地殻活動の現状と将来の推移を把握し、即時的に情報発信するため、南海トラフ地震発生帯の現実的なモデルと海陸統合地震・地殻変動データを最大活用した地殻

活動・プレート固着すべりモニタリング及び予測システムの構築を推進している。

2.1 高精度な3D構造モデルに基づく自動震源決定システムの開発

南海トラフや、その周辺で起きる地震の震源位置を正確に決めるためには、正確な地下構造に関する詳細な情報が必要である。しかし海陸境界に位置する南海トラフ地震発生帯の地下は非常に複雑で、詳細なモデルは構築されていない。そこで、本取り組みでは既存の地下構造情報に最新の研究成果を取りこみ、現実的な三次元（3D）構造モデルを構築することで、震源位置決定の高精度化を進めている。同時に、このモデルを活用した自動震源決定を行うことにより、「通常とは異なる」地震活動を迅速に把握できるようにするためのシステムの開発を行っている。

現在、開発したプロトタイプシステムを用いて、地震活動が活発な日向灘海域等を対象とした試験稼働を行っている。それによると、従来のシステムで震源決定した結果と比べ、本システムで決定した結果は震源のばらつきが小さく、より高い精度で震源位置を把握できることが示されている。

2.2 プレート固着・すべり分布のモニタリングシステムの構築

プレート間の固着の様子や、地震発生時にそのすべりの状態を正確に捉えることは、プレート境界の現状把握の上で極めて重要である。これまでのプレート固着・すべり分布のモニタリングでは単純化された地下構造モデルを使うことが一般的で、現実的な3Dモデルは用いられてこなかっ

¹ 汐見勝彦（防災科学技術研究所）、太田雄策（東北大学）、堀高峰（海洋研究開発機構）、中村洋光（防災科学技術研究所）、平山修久（名古屋大学）、矢守克也（京都大学）、廣井悠（東京大学）

た。また、プレートのすべり現象の推定は、様々な要因による不確実性を伴うが、防災情報の発信に際しては現状「最もありうる」とされる推定値を用いることが想定されており、それでは危険性を過小評価する可能性がある。そこで本取り組みでは2.1で開発した現実的な3D構造モデルを使ってプレートの固着やすべりの現状を把握するとともに、通常と異なる現象を検出した場合、推定にどのくらいの「あいまいさ」の幅があるかを含めた情報を出すシステムの開発を進めている。このシステムを活用すると、地震発生時に地域毎に津波で浸水する可能性がどのくらいあるかを、確率の形でリアルタイムに予測することも可能となる。例えば、地震が起きた時、地震時の断層すべり分布・量を推定の幅の中で100通り選び出し、それぞれに応じた津波の浸水領域を計算することによって、対象領域の津波浸水の確立を可視化することができる。

2.3 3次元粘弾性構造モデル・履歴情報を用いた推移予測

南海トラフ想定震源域で一定規模の地震が発生した場合や、特異なゆっくりすべりが進行した場合、その後の推移に関する予測情報は防災対策・対応をする際、重要な情報となる。そのため本取り組みでは大規模な地震発生に向けた過去からの地震準備過程を明らかにするとともに、その後の推移を予測する手法開発を進めている。

地震が発生するとプレート境界周辺に蓄積されたひずみは、いったん解消される。しかしプレートが沈み込むに伴い、再びひずみが蓄積し次の地震発生の準備が進行する。地震発生や特異なゆっくりすべりなどが起きた場合、実際にその現象がどう推移していくかを予測する手法は、未だ確立されていない。本取り組みでは、津波や地殻変動についての史料や痕跡、津波堆積物などの調査も含めて、過去の南海トラフ地震に関するデータを集めるとともに、これらにもとづいた南海トラフの地震履歴の統一モデルの構築を進めている。また、その知見を踏まえて将来起こり得る地震シナリオを検討している。さらに、過去からの地震履歴によって生じるひずみ蓄積や解放の結果としての現在の応力状態を推定するために必要となる「3次元粘弾性構造モデル」を構築している。

3. 地震防災情報創成研究

将来の発生が確実視され、地震発生の時空間的な多様性を持つとされている南海トラフ沿いの巨大地震に対して、「通常と異なる現象」発生後の時間推移についてもその多様性の一例として取り込んだ地震や津波のハザードやリスクの防災情報基盤を創成し、「命を守る」、「地域産業活動を守る」、「大都市機能を守る」の3つの目標を立て総合的に研究を推進している。

3.1 地震防災基盤シミュレータの構築

時空間的な地震発生の多様性を持つ南海トラフ地震を対象に、関連するサブテーマ研究で活用可能とする将来を予測する基盤となる情報として、地震や津波のハザードやそれによって引き起こされるリスク情報を創出する地震防災基盤シミュレータを開発している。具体的には、「通常と異なる現象」を地震発生の多様性の一例として捉え、通常と異なる現象発生後の時間推移も取り込んだ南海トラフ地震の時空間多様性モデルを構築している。多様性を有する多数の断層モデル群を用いたハザード評価を可能とするため、長周期地震動を含む長継続時間・広帯域強震動や津波遡上を安定的かつ効率的にシミュレーションする手法を開発している。これらのハザード情報に基づく時間推移を考慮したリスク評価から、地域性の観点で南海トラフの地震像を類型化する手法の開発を行い、類型化毎の代表的な広域災害シナリオを構築している。最終的にこれらの成果は、地震防災基盤シミュレータに搭載され、二次利用可能な形式で提供可能となる見込みである。

3.2 臨時情報発表時の人々の行動意思決定に資する情報の提供

臨時情報には、南海トラフ地震・津波による被害を大幅に軽減することが期待されている。しかし、本情報をはじめ不確実性を含む災害情報の効力を十分に引き出すためには、どの範囲の、どのような人々が事前避難すべきなのかについて検討するための客観的基準、適切な避難先及び避難方法に関する知見とノウハウが必要とされる。そこで、地震防災基盤シミュレータの津波シミュレーションをベースに、先行プロジェクト（SIP第1期）で津波避難訓練支援アプリとして開発した「逃げトレ」を用いた避難訓練を通して得られる空間移動データを活用して、事前避難の要不要について客観的に検討することができるWEBツール「逃げトレ View」を開発し、その試行版を用いた実証実験を実施している。また、津波到達時間が特に短い地域では、不確実性もふまえた避難可能なまちづくりを進めるため、「逃げ地図」を用いたワークショップを開催している。

3.3 発災時の企業の活動停止を防ぐ

新型コロナウイルス感染症（COVID-19）での社会経済活動の停滞と臨時情報発表時の社会の委縮に伴う地域経済活動停止との類似性の観点から、電力需要と平均気温との関連性を明らかにした。また、COVID-19による社会活動の萎縮が、水配水量に出現していることを明らかにした。これらにより、ライフラインなどの都市のリアルタイムモニタリングにより、臨時情報発表時における社会経済活動の萎縮や人々の生活様式変化を把握することが可能であると指摘した。多様な発生形態に伴う社会様相について、対面ならびにオ

ンラインでのワークショップ手法を構築し、さまざまな主体が参画して社会様相シナリオの構築に取り組んでいる。さらに、関係機関が一堂に会して、南海トラフ地震臨時発表時の課題に関するワークショップを実施している。その結果、南海トラフ地震臨時情報発表時の特徴的な時間断面での災害対応の図上演習シナリオ検討の場づくりを行っている。今後、能登半島地震の経験など踏まえさらなる検討を実施する予定である。

3.4 発災時の大都市機能の維持

大都市がひとたび大災害に襲われると、行政・メディア・金融など各主体における中枢管理機能の麻痺による負の波及効果は非常に大きいものと考えられる。それゆえ、巨大災害時にも大都市の社会的機能をどのように維持するかは重要な対策となる。都市機能を維持するにあたって高層ビルの継続使用は欠かせないことから、ここでは都市機能維持策の検討のひとつとして、エレベータを対象に地震発生から災害の進行過程と復旧過程までをシミュレーションできる環境を構築し、大都市機能維持の観点から望ましい復旧オペレーション方針を検討している。現在は、本プロジェクトで構築したエレベータ復旧シミュレーション手法に基づき、南海トラフ地震の多様性モデルを踏まえた強震動計算用震源断層モデル(83ケース)から特徴的なケースを選択したうえで、超高層建物の多い東京都の行政区(港区、千代田区、中央区、新宿区)における長周期地震動によるエレベータ被害を予測し、シミュレーションから得られた定量的な復旧予想時間を算出することで、最大限都市機能を継続させる復旧方針を分析している。

4. 創成情報発信研究

各地域では、国や自治体が作成したハザードマップに基づき、防災対策を立案している。南海トラフ沿岸の自治体では津波避難困難区域を設定し、この区域を解消すべく、津波タワー等の避難施設を準備してきた。気象庁も緊急地震速報や津波警報・注意報、臨時情報を発表、運用するとともに、地震活動の情報も発信している。国からの情報展開、自治体による各種ハザードマップの提供が進んでいるが、各地域の防災行動は不十分であることが現状である。その原因は、ハザードマップの理解と活用の不足、地震や津波による被災イメージの欠如にあると考えている。これらの問題に対して、本取り組みでは、地域の防災上の課題の抽出と再評価、情報発信検討会を通じた研究成果や各地域の防災対策の共有化、災害情報リテラシーの向上の3つのアプローチで取り組んだ。これらのアプローチには、地殻活動情報創成研究からの情報や地震防災情報創成研究からのハザード情報に加え、地域特有の防災上の問題については、独自に解析を施して、地域社会に研究成果

の還元を進めている。

ハザードマップでは浸水深分布が提供されるが、浸水深が浅い地域では被害はほとんどないとして考えがちである。しかし、浸水深分布の浅い地域には、瓦礫が集積と、木質瓦礫による津波火災を引き起こす可能性もある。実際、2011年東日本大震災では、石巻市で同様の現象が発生している。これまで津波瓦礫の集積と漂流について、尾鷲市と延岡市を事例として評価してきた。特に尾鷲市には、これまで導入している津波即時予測システムに漂流物評価を加え、津波被害即時予測システムとして実装した。この評価は、瓦礫集積地での避難対策と火災対応、想定される瓦礫発生量分の土地利用、海洋での漂流物のための海洋利用の可能性、河川への津波遡上と港湾構造物の対応による影響評価などの検討に重要な情報となる。また、強震動が地域に入力されたときの地盤被害について、徳島県那賀川流域と大きな河川が集まる延岡市で再検討した。ともに地盤深部にシルト層が分布し、また、低周波成分を含む入力地震動や長時間の継続時間による地盤被害は現在の想定よりも大きい。また、盆地状の構造も局所的に大きな被害を生むことがわかった。医療従事者が個々の患者の容態を把握して診察するように、防災政策も地域の防災上の特性に合わせて不足分を補う必要があるはずである。地域の被害軽減と早急な復旧・復興を考えるためには地域の現状把握と適切な評価が欠かせない。

様々な情報を正しく利用するには、災害情報リテラシーの向上が不可欠である。被災を正しくイメージできることが鍵になってくるが、特に地域防災を支える担当者は、災害時に現場で瞬時の対応を迫られる。例えば、強い揺れを感じた直後、停電下で情報が遮断された場合でも津波リスクの判断は、その後の避難行動に大きく関係する。観測データに基づく津波即時予測システムを用いて、坂出市消防の協力のもと、訓練を行った。強い揺れとそれに伴う津波の発生、津波到着までの猶予時間の使い方と適切な避難経路の指示、伝達される情報の優先順位等、瞬時の状況把握と適切な判断が求められる。このような訓練を通じて、地域防災の現状を認識し、強震動や津波から即時的に対応することが難しい地域では、臨時情報を基礎自治体全体の防災対策に利用することも一つの方法になるだろう。こういった即時的で適切な判断と行動につなげるためには、知識と経験、臨時情報利用も含めた備えに基づいた判断力と行動力を養うことが必要になる。本取り組みでは、災害情報リテラシー向上に向けてアンケート調査を行い、防災意識の現状や地域性の把握、効果的な防災教育などを検討している。

地域防災はそれぞれの防災上の特性に合わせるべきである。例えば、津波避難の猶予時間が短

い地域で、揺れが収まるまでの待機の可否は、地域によって異なり、それに応じた対策を講じる必要があるだろう。防災対策の内容とその根拠を地域横断で共有することは、特に防災上の特性が類似していれば参考になり得る。研究成果や様々な防災上の取り組みを地域間や企業間などで共有してもらうため、自治体やインフラ事業者、地域の企業・大学等による情報発信検討会を開催している。情報発信検討会では、「ハザード評価」「複合災害対応」「事業継続」「人材育成」の四つのテーマを設定し、適切な被災イメージを描けるよう、それぞれのテーマごとに議論を進めている。

謝 辞

本研究プロジェクトは文部科学省科学技術試験研究委託事業「防災対策に資する南海トラフ地震調査研究プロジェクト」として実施されている

参考文献

防災対策に資する南海トラフ地震調査研究プロジェクト, <https://www.jamstec.go.jp/bosai-nankai/j/index.html>

南海トラフ地震臨時情報 社会は「わかりにくさ」をどう受け止めるか

松本大学 地域防災科学研究所 入江さやか

2017年に運用が始まった「南海トラフ地震臨時情報」については、自治体やメディア、研究機関によるさまざまな調査が行われてきた。これらの調査を概観すると、臨時情報の認知度は総じて低く、発表された場合にとるべき行動が十分理解されていない状況がうかがわれる。また、臨時情報の根拠となっている地震予測の「不確実性」や、臨時情報発表後の社会活動の維持の必要性などについても、理解を深めるための取り組みが求められる。

1. はじめに

2017年に「南海トラフ地震臨時情報（以下、臨時情報）」の運用が始まって6年が経過した。臨時情報はまだ一度も発表されたことがなく、実際に発表された場合に、社会がこの情報をどのように受け止め、反応するかは未知数である。臨時情報に関しては、自治体やメディア、研究機関によって住民などを対象としたさまざまな調査が行われてきた。本稿は、2023年11月に開催された第16回日本地震工学シンポジウム（16JEES）におけるオーガナイズドセッション11「海溝型巨大地震の予測情報をめぐる防災対策とリスクコミュニケーション『わかりにくさ』に向き合うー」において、オーナガイザーの立場から、セッションのベースとなる現状を共有する目的で発表した内容を中心にまとめたものである。

2. 自治体による住民意識調査

2017年の臨時情報の運用開始以降、「南海トラフ地震津波避難対策特別強化地域」を有する複数の県が、臨時情報に関する質問を含めた住民防災意識調査を実施している。静岡県、三重県、和歌山県、高知県などである。これらの調査で「臨時情報の認知」「臨時情報が発せられたときの行動」について、どのような結果が得られているかみていく。なお、調査報告の表記を和暦にしている自治体もあるが、本稿ではすべて西暦に読みかえることとする。

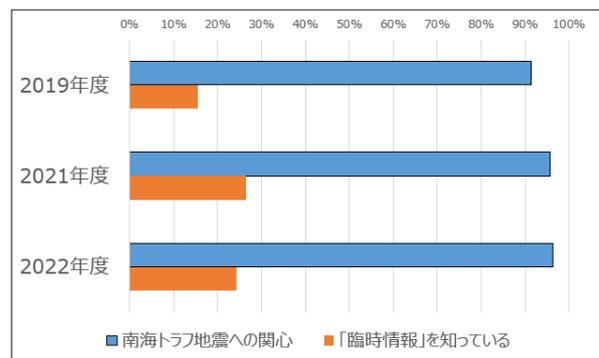
2.1 静岡県

一地震への関心は高いが情報認知度は低い

静岡県は「南海トラフ地震に関する県民意識調査」を2019年度、2021年度、2022年度の3回実施している。この3回の調査のうち、2019年度は郵送による調査だが、2021年度、2022年度はインターネットによる調査であった。

「南海トラフ地震にどの程度の関心を持っていますか」という設問に対して「非常に又は多少関心がある」と回答した人は、2019年度が91.4%、2021年度が95.7%、2022年度が96.3%で、ほとんどの回答者が関心を持っていることがわかる。しかしながら「『南海トラフ地震臨時情報』が発表されることについて知っていますか」という質問に対して「知っている」と回答した人は、2019年度が15.6%、2021年度には26.4%、2022年度は24.4%で、4人に1人程度にとどまった。

また「聞いたことはあるが内容は知らない」と回答した人は、2019年度が33.3%、2021年度が36.1%、2022年度が37.4%であった。これらの結果から、南海トラフ地震への関心は非常に高いが、臨



時情報の認知度は低いことがわかる。

図1 南海トラフ地震への関心と臨時情報の認知（静岡県「南海トラフ地震に関する県民意識調査結果報告書」に基づき入江作成）

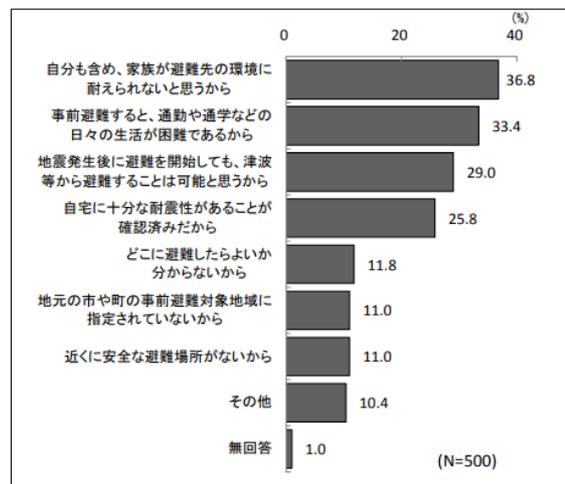


図2 事前避難をしない理由

（静岡県「南海トラフ地震に関する県民意識調査（2019年度）」結果報告書より引用）

なお、静岡県の2019年度の調査には、臨時情報が発表された場合の行動に関する設問があった（図2）。臨時情報（巨大地震警戒）が発表された場合、地震発生後では津波からの緊急避難が困難

な地域の住民に対して 1 週間の事前避難が呼びかけられる。その場合、事前避難をするかどうかという問いには、「事前避難する」が 24.8%で、「事前避難しない」が 46.6%となっており、事前避難の意向が低かった。「事前避難しない」理由は「自分も含め、家族が避難先の環境に耐えられないと思うから (36.8%)」「事前避難すると、通勤や通学などの日々の生活が困難であるから (33.4%)」、「事前避難対象地域になって指定されていないから」は 11%となっていた。

2.2 三重県—臨時情報発表時の行動認知は 2 割

三重県は 2018 年度から「防災に関する県民意識調査」に、臨時情報の認知に関する設問を追加した。「気象庁は、平成 29 年 11 月から、南海トラフ地震が発生する可能性が高まった場合、『南海トラフ地震に関連する情報 (臨時)』を発表することとしています。この情報について、あなたはどの程度ご存知ですか」という設問で、4 つの選択肢から回答する形式になっている(表 1)。2018 年度、2019 年度、2020 年度、2021 年度の推移は表 1 の通りである。4 年間で「知らない」は、20.1%から 11%に減少し、9 割以上の住民が何らかのかたちで臨時情報に接触していた。

	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度
耳にしたことはあるが、具体的にどのような情報が知らない	40.9	40.2	30.2	29.7
テレビ番組の解説等で、どのような情報が聞いたことがある	33.3	26.9	46.9	46.9
どのような情報がインターネットやパンフレット等で確認し、よく知っている	4.8	5.5	11.0	10.7
知らない	20.1	26.7	11.4	11.8
無回答	0.8	0.6	0.5	0.9
				(%)

表 1 南海トラフ地震臨時情報についての認知度 (三重県の調査報告書をもとに入江作成)

2022 年度からは設問が変わり、「南海トラフ地震臨時情報について、地震発生から津波到達までに避難が間に合わない地域では事前に避難することとなっていますが、このことを知っていますか」と、発表時の行動の認知を問う内容になっている。これに対して「知っている」は 23.2%、「名称は知っているが具体的な内容 (何をすべきかは知らない)」は 30.4%、「知らない」は 43.5%となっていた。

2021 年度までの調査では、臨時情報を何らかの形で知っている人が 9 割近くまで増えていたが、2022 年度の調査結果と比較すると、情報の認知度と発表時の行動の理解の間にギャップがあることがうかがえる。なお、2022 年の調査では、10～20 代では 3 分の 2 が「知らない」と答えてお

り、年代により臨時情報の認知度・理解度に差がみられた。

3. メディアによる調査

NHK や共同通信などメディアによる臨時情報に関する調査も行われている。全国にネットワークを持つメディアの特性を生かし、市町村を対象にしたきめこまかい調査が特徴である。ここでは、NHK が自治体を対象に実施した調査を紹介する。

3.1 NHK—浸透せぬ臨時情報に自治体苦慮

NHK は 2022 年に「津波避難対策特別強化地域」に指定された 139 市町村 (行政) を対象にアンケート調査を実施した。

「臨時情報の内容が住民に十分浸透していると思いますか」という問いに対しては、市町村からは「あまり浸透していない」が 62%で最も多く、「ほとんど浸透していない」が 14%だった (図 3)。

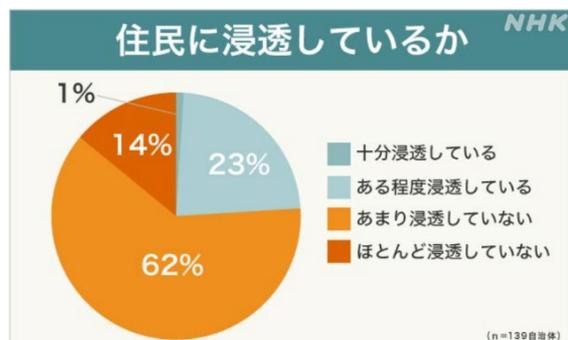


図 3 臨時情報の住民への浸透 (NHK オンライン「『南海トラフ地震臨時情報』に関する自治体アンケート」より引用)

また「臨時情報が発表され、運用するにあたり、どのような懸念や不安がありますか」という問いに対しては、「情報が浸透していないことによる混乱」をあげた自治体が 81%で最も多く、次いで「長期間、避難所を運営するための人員の確保」(78%)、「長期間、避難することによる避難者の体調面のケア」(71%) などとなっている。また、NHK のアンケートに対し自治体からは以下のような懸念や提言も寄せられていた。

「臨時情報の発表の流れ (調査中⇒巨大地震注意、巨大地震警戒) について、国民の知識は全く無いと思われる。(当市からの市民への周知も不足している) 実際臨時情報が発表された場合に、社会的に非常に大きな混乱が生じ、パニックに陥る市民も多数居ると予想されるのが非常に懸念される。臨時情報発表後は『地震に備えつつ通常の社会活動をできるだけ維持』がテーマになるが、結局のところ臨時情報が発表されたら社会的な混乱が大きいと思われるため、どの程度社会活動を維持できるのか不明」

「臨時情報は住民にとってはじめての情報となる。その場合、パニックとなり自治体に問い合わせ

せが殺到すると予想される。その場合、自治体は電話対応に追われ、本来の業務が滞るのではと危惧している。それを防ぐためにも、国・マスコミ等は住民への啓発を平時から行ってほしい

4. 大学・研究機関による調査

大学や研究機関では、臨時情報の課題をより深く掘り下げたさまざまな調査が行われている。

4.1 安本ほかによる住民調査

—自治体の情報発信が避難行動を左右する

安本ほか（2020）による『南海トラフ地震に関連する情報』に対する住民の反応では、臨時情報に人々がどのように反応するのか、という問題意識から、2018年に高知市、静岡市清水区・葵区の住民を対象にNHKと共同で郵送によるアンケート調査を実施している。

「臨時情報に対する評価」を問う設問では、68.3%が『空振り』しても構わないので、南海トラフ地震に関するこうした情報は適宜、公表してほしいと答え、次いで「命にかかわる情報なので、どんな情報も提供してほしい」が55.7%、『地震が発生する可能性がある』とはいっても、その発生確率が分からないと判断しにくい」は49%の順となっている。

この調査結果を分析し、安本らは臨時情報に対する住民の反応について2つの特徴があるとしている。第一は、臨時情報は約半数が知っていたが、情報をもとにどのような判断をすべきか難しいと考えられていること、第二は、気象庁から臨時情報が発表された場合、地方自治体がどのような情報を出すかによって避難に対する意思が大きく変化するという点である。

4.2 林ほかによる住民調査

—臨時情報の「不確実性」をめぐる認識の乖離

2023年11月、日本地震学会秋季大会において、林・大谷による「南海トラフ地震臨時情報の認知度と対応行動に関する意識調査」が発表された。この調査は8都府県（東京・静岡・愛知・大阪・広島・徳島・高知・宮崎）各都府県400人、合計3200人を対象にインターネットで実施したものである。

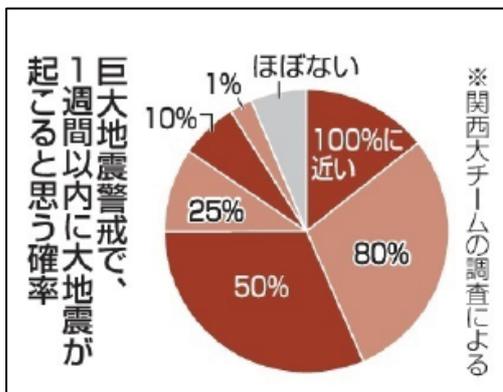


図4 臨時情報（巨大地震警戒）の確率認識（静岡新聞2023年10月31日朝刊）より引用

『巨大地震警戒』が発表された場合、警戒期間である『1週間以内』に、大地震が起こる確率はどの程度だと思いますか？』という質問に対し、「100%近い」14.3%、「80%」が29.2%、「50%」が31.5%と回答した（図4）。回答者の4分の3,75%が、臨時情報（巨大地震警戒）は、後発地震の発生確率50%以上の確度の高い情報と考えていた。一方、内閣府ガイドラインでは「半割れ」が起きた場合、7日以内に後続の巨大地震が発生する確率は103分の7、すなわち7%程度である。この調査により、臨時情報の「不確実性」について、政府と国民の間で大きな乖離があることが明らかになった。

5. 調査から見てきた4つの課題

これらの調査からは、大別して3つの課題が見えてきた。

第1の課題は、臨時情報の認知度の低さである。第2章で示した自治体による調査をみると、総じて臨時情報そのものが知られていないことがわかる。また、和歌山県、高知県では、年を経るにつれて認知度の低下傾向もみられている。認知度の低下は、新型コロナウイルス感染症の影響で自治体が十分な周知・啓発を行えなかったことや、新聞やテレビなどによる報道が運用開始以降は減少し、住民が情報に接する機会が減ったことなども要因ではないかと考える。

第2の課題は、臨時情報の発表時におけるべき行動の理解が不足していることである。情報の名称だけを知っていても「理解している」とはいえない。高知県の調査では、居住している地域が臨時情報の事前避難対象地域であるかどうかかわからない人が7割を超えていた。また、4.1で示した安本ほかによる調査によれば、臨時情報発表時の自治体の情報発信がカギとなると考えられる。

第3の課題は、臨時情報の「不確実性」に関する理解の不足である。4.2で示した林ほかの調査では、臨時情報発表時の後発地震の発生確率を過大に評価している人が極めて多く、臨時情報の「不確実性」が理解されていない実情が明らかになった。臨時情報は不確実性をともなう情報であり、これをもって社会機能を大幅に低下させることは望ましくない。内閣府のガイドラインに示されているように「日常生活・企業活動への影響のバランスを考慮」して対応すべきである。これが全国的に共通認識として理解されていなければ、広域にわたって社会的な混乱が発生するおそれがあるといえよう。

5. 臨時情報の伝達・運用の難しさ

では、このようにさまざまな課題を抱えた臨時情報を実際に伝達するメディア、運用する自治体はどのような問題に直面するのか。筆者らは、地震学、行政、メディア関係者からなる私的な研究会で、臨時情報発表時のシミュレーションを行い、問題点の抽出を試みてきた。

5.1 メディア

放送などのメディアが直面する「困難」は3つある。第1は臨時情報の「不確実性」を伝える難しさである。臨時情報は、他の予報・警報のように頻繁に発表される情報ではない。また、「地震予知」ではなく、「不確実性」をはらむ防災情報である。「地震発生のおそれが相対的に高まっている」とはどのような状況なのか、解除の基準が科学的な観測データはでなく、避難者の「受忍限度」で決まっているのはなぜか、など説明が非常に難しい。メディアによっても臨時情報の理解度にばらつきがみられ、伝え方によっては社会的混乱につながるおそれも否定できない。

第2は、「事前避難」と「日常生活の継続」というベクトルの異なる情報を伝える難しさである。「巨大地震警戒」が発表された場合、事前避難対象地域の住民に対しては「1週間の避難」が求められる一方で、それ以外の地域では「日常生活を行いつつ、一定期間地震に注意した行動」が求められる。放送等のメディアは、2つのベクトルの異なる情報を混乱なく伝えられるか。「事前避難」する住民の姿が報道されれば、それ以外の地域の住民も不安になり、自主避難などを始める可能性がある。

第3は、自治体の対応のばらつきをきめ細かく伝える難しさである。「巨大地震警戒」が出た際に、市町村によって学校の休校措置が異なる場合がある。休校措置に限らず、市町村によって臨時情報への対応にばらつきが出る可能性は高い。メディアはそれらの情報をきめ細かく伝えることができるだろうか。

5.2 自治体（市町村）

住民に直接対応する市町村も、上記のメディアと同様に情報伝達が大きな課題となる。そればかりか、臨時情報によって誘発される住民の行動への対応を迫られる。「巨大地震注意」の場合や、「巨大地震警戒」の事前避難対象地域以外の住民に対しては、政府は国民に対して原則として「日ごろからの防災対策を確認する」としており、避難などは求めている。しかし、一部の地域で住民の自主的避難の動きなどが出たり、それが広域で報道された場合、他地域の住民の防災行動にも影響を与えたり、自治体が問い合わせへの対応に追われたり、予定外の避難所開設を余儀なくされたりする可能性もある。

6. まとめ—「臨時情報」ともう一度向き合う

南海トラフ地震臨時情報の運用開始から6年が経過したが、新型コロナウイルス感染症の拡大などにより、臨時情報をめぐる議論や運用の検討を深める機会が失われてきた。本稿で述べてきた通り、「臨時情報」の意味やとるべき行動、不確実性への理解が不十分なままで発表されると、社会的混乱を引き起こす懸念がある。

臨時情報を適切な避難行動や防災行動に結び付けるためには、臨時情報を「出す側」（気象庁・評価検討会）「使う側」（自治体、メディア、企業など）が、臨時情報発表時の対応や課題を相互に共

有・検討し、臨時情報の使い方の共通イメージを形成し、課題を認識しておくことが不可欠である。その上で、地域住民を対象とした勉強会や訓練を通じて、臨時情報発表時にとるべき行動について理解を深めていかなければならない。現在、内閣府において南海トラフ地震の被害想定、防災対策の見直しの作業が進められている。この機を逃さずに、改めて臨時情報をめぐる課題ともう一度向かい合うべきであろう。

参考文献

- 静岡県：「令和元年度南海トラフ地震についての県民意識調査」
静岡県：「令和3年度南海トラフ地震に関する県民意識調査」
静岡県：「令和4年度南海トラフ地震に関する県民意識調査」（参照2023-08-26）
三重県：「防災に関する県民意識調査（平成30年度～令和4年度）」
和歌山県：「防災・減災に関する県民意識調査（令和元年度、令和4年度）」（参照2023-08-26）
高知県：「地震・津波県民意識調査（平成30年度令和3年度）」
NHK：「『南海トラフ地震臨時情報に関する』自治体アンケート」（参照2023-08-26）
安本真也ほか：「南海トラフ地震に関連する情報」に対する住民の反応，災害情報，Vol. 18, No. 1, pp. 95-105, 2020.
林能成・大谷竜：南海トラフ地震臨時情報の認知度と対応行動に関する意識調査，日本地震学会秋季大会（2023年11月2日）
内閣府：「南海トラフ地震の多様な発生形態に備えた 防災対応検討ガイドライン（第1版）」，2021
大谷竜ほか：南海トラフ地震情報を使った防災対応上の潜在的課題群の抽出法の開発—ゆっくりすべりケースに対するテレビ報道を例に—，日本地震工学会論文集，Vol. 21, No. 2, pp. 34- 56, 2021.
大谷竜ほか：南海トラフ地震情報の報道における論点の抽出を目的としたワークショップの試み—「西半割れ」ケース—，日本地震工学会論文集，Vol. 22, No. 2, pp. 88-108, 2022
入江さやかほか：南海トラフ地震臨時情報」発表時の情報伝達における課題の抽出—科学の「不確実性」を社会にどう伝えるか—，日本地球惑星科学連合 2021 年大会
大谷竜ほか：南海トラフ地震情報における災害予測情報の運用上の考え方—防災対応への活用における現状と課題—，日本地震工学会論文集，Vol. 23, No. 1, pp. 59-78, 2023

「南海トラフ地震臨時情報」をどう伝えるか NHK ドラマの現場から

NHK ニュースデスク 森野周

2023年3月放送のNHKスペシャル「南海トラフ巨大地震」のドラマでは、日本列島で想定される被害に加え、「半割れ」ケースによる社会の混乱や情報の出し方をめぐる防災関係者の葛藤も描いた。NHKが調査や取材を進めていく中で混乱や葛藤に至る要因として考えられるのが「南海トラフ地震臨時情報」の内容が十分に市民に浸透していないこと、そして情報そのものが不確実性をはらみ、市民だけでなく「発信者にとっても難しい」情報となっていることだ。情報を発信するメディアから見た情報の課題等について、2023年12月のシンポジウムで報告した内容を紹介する。

1. はじめに

2023年3月放送のNHKスペシャル「南海トラフ巨大地震」では、記者やディレクターによる行政や専門家への取材をもとにドラマとドキュメンタリーを通じて日本列島で想定される被害を描いた。この中では、巨大地震が南海トラフ地震の想定震源域の西の領域で発生し、その後東の領域で後発地震が発生する「半割れ」ケースを想定した。その大きな目的のひとつが、「南海トラフ地震臨時情報」（以下、「臨時情報」）について、多くの視聴者に知ってもらうことだ。一方、このドラマの取材・制作過程で、私たちメディアの関係者に限らず、防災の情報発信に携わる多くの関係者が直面する情報の課題の一端も見えてきた。本稿では、番組制作の現場から見えた課題等を紹介する。



図1 NHKスペシャル『南海トラフ巨大地震』のキービジュアル

2. ドラマ「南海トラフ巨大地震」で起きたこと

まず、国の「半割れ」ケースの想定イメージと専門家への取材を元に描いた、ドラマのシナリオの概要を紹介する。

20XX年、まず南海トラフの西側を震源域にM8.9の巨大地震が発生。近畿、四国、九州で最大震度7の揺れを観測し、大阪など各地の超高層ビルは長周期地震動で大きく揺れる。さらに太平洋側沿岸を10メートル超の巨大津波が襲う。

ここで気象庁は地震発生約2時間後、「南海トラフ地震臨時情報 巨大地震警戒」（以下、「巨

大地震警戒」）を発表し、広い範囲で後発地震への警戒を呼びかけた。その後、太平洋沿岸の被災地には十分な救助・救援・支援が届かず、孤立を深めていく。避難所等では体調を崩す人があられ「災害関連死」の危険性も高まる。特に津波の被災地への支援の遅れの要因のひとつに、「巨大地震警戒」の発表が影響しているという指摘も出てくる。

そして1週間後、「巨大地震警戒」は「解除」され、日常生活の中での備えが呼びかけられた。そんなさなか、東の「半割れ」となるM8.6の巨大地震が発生。東海、そして関東でも大きな被害が出る。

こうした時系列でドラマは進行した。

3. 伝え手に悩ましい“2つのフェイズ”

ドラマの制作の過程で改めて実感したのが、「半割れ」ケースが発生した際の「臨時情報」「巨大地震警戒」の影響力の大きさ、そして行政やメディアなど伝え手にとって「伝え方が難しい情報」だということだ。ドラマではその葛藤の一端を描いたが、伝える上で悩むと考えた、以下の“2つのフェイズ”がある。

- ① 巨大地震「発生後」にどう伝えるか
- ② 「臨時情報解除」の際にどう伝えるか

このうち①巨大地震「発生後」のフェイズについては、「巨大地震警戒」発表の記者会見の場面で見てきた。気象庁と「南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会」の会長による会見。「巨大地震警戒」の発表に伴い「南海トラフ地震の想定震源域では、大規模な地震の発表可能性が平常時に比べて相対的に高まっている」と定型文で呼びかけると、記者たちから矢継ぎ早に質問が飛ぶ。

「これは西の『半割れ』なのか」
「東でも同じような規模の地震が起きるのか」
「東側で起きれば、東京湾にも津波が来るのか」

こうした「明確な次のシナリオを求める」質問に、果たして明確に答えることができるか。そし

て、どの程度強く備えを呼びかけることが適切か。メディアも含め迷いを持ったまま発信をすることになると感じた。もちろん従前周知されているように、過去の巨大地震後の「後発地震」の発生確率等をもとに解説をすることは可能だ。可能性についてのシナリオも示すことができる。しかし災害報道で重要なのは、「住民がどう行動すればいいか」をなるべくわかりやすく示すことだ。

不確実性をはらむ情報だけに、例えば大津波警報の際の呼びかけのように、多くの住民の行動変容につなげるような「強い呼びかけ」は難しいように感じる。そこに「わかりにくい情報」の課題があると考えた。

また、ドラマの制作過程で改めて実感したのが、「巨大地震警戒」はすでに甚大な被害が発生し、社会に大きな混乱が生じている中で発表される情報であることだ。住民生活に限らず、救助・救援にも大きな影響が出るのが予想される。実際に総務省消防庁の緊急消防援助隊アクションプランでも、重点受援県 10 県は、被害が少なくとも 1 週間は地元での活動にとどまるとしている。一方でこのようにあらかじめ対応を決めていない機関も多く、救助・救援への影響には、その時の情報発信も影響してくる。いかに適切な呼びかけを行うことができるのか、今から考えておく必要がある。

次に課題となるのが、②「臨時情報解除」のフェイズだ。直後の伝え方に目を奪われがちだが、「解除」の伝え方はより難しいと感じる。「半割れ」が起きたあとでも、実際には後発の巨大地震が発生する可能性の方が低い。南海トラフ地震が発生したあとには、十分に考えられる状況だろう。こうした中、番組のドラマでは架空の総理大臣の国民への呼びかけとして、以下のように言葉を投げかけた。その一部を紹介する。

「もう一度、同じような地震が起きるかもしれない。そう頭に深く刻んで、社会生活を送るようにしてください。私たち政府も全力を尽くします。が、限界があるのも事実です。だからこそ、皆さんひとりひとりが地震に備えることが、何よりも重要なんです。水や食料の確保、住宅の耐震化や家具の固定、ご家族やお子様、大切な人との安否確認方法、大丈夫でしょうか。自分ごととして捉えていただいているでしょうか。その積み重ねがいまこの瞬間も西日本で被災されて苦しんでおられる方々を、ひとりでも多く救うこととなります」

この言葉は、当たり前のことを呼びかけているに過ぎないかもしれない。防災関係者が日頃から繰り返し呼びかけている内容だからだ。しかし、ドラマで過酷な状況を描いたあとだからこそ日常のとき以上にこうした言葉が響くのだと感じ

た。「巨大地震警戒」が発表され、「解除」されるときにどのような言葉を届けるのか。情報の伝え手は今から考えておく必要があると考える。

4. まとめ

NHK スペシャル「南海トラフ巨大地震」制作の過程で取材班が行き着いたのが、何よりも巨大地震が発生する前の啓発が大切だ、という結論だった。それは拍子抜けするような当たり前の結論かもしれない。しかし、リアリティーのあるドラマで南海トラフ巨大地震の被害を描いた私たちにとっては、より切実な課題だと感じた。

番組のスタジオでドラマを監修した名古屋大学の福和伸夫名誉教授は、「臨時情報を知ることきっかけに、南海トラフ地震で何が起きるのか想像してほしい」と述べた。「臨時情報」が発表されるような事態が起きるまでに何ができるのか。「わかりにくい、難しい情報」だからこそ、その情報を伝えることも生かしながら、備えの重要性を訴えていくしかない。そして、その事前に行えることの中には、実際にそのような事態が起きたときに、どのように呼びかけることが人命を守るために有効か、を考えておくことも含まれるだろう。

参考文献（番組）

NHK スペシャル「南海トラフ巨大地震」

第 1 部 ドラマ前後編(2023 年 3 月 4 日放送)

第 2 部 “最悪のシナリオ” にどう備えるか

(2023 年 3 月 5 日放送)

上記の番組はいずれも「NHK オンデマンド」

で視聴可能 (2024 年 2 月 26 日現在)

NHK NEWS WEB 特設サイト「まとめて知る南海トラフ巨大地震」

https://www3.nhk.or.jp/news/special/saigai/natural-disaster/natural-disaster_25.html

総務省消防庁, 2020, 南海トラフ地震における緊急消防援助隊アクションプラン」

等身大の地震学を最大限に活用した 揺れに対する事前の備えのレベルアップ

海洋研究開発機構・海域地震火山部門・地震津波予測研究開発センター 堀高峰

能登半島の地震とその震災によって、揺れへの備えの必要性が改めて浮き彫りになった。備えるべき地震としては、過去に起きた痕跡が残っている最大級まで考慮に入れることが必要であることも示された。ここ数年起きていた群発地震活動と M7 クラス地震との因果関係はまだわからない。しかし群発地震活動期間のように、相対的に大地震の発生可能性が高まっている際に、最大級までのリスクを考慮した上で、揺れに対する事前の備えを加速することができれば、地震による被害を軽減できると期待される。

1. はじめに

昨年暮れ、地震学会のイベントで訪れたある町で津波避難タワーから見た光景を忘れることができない。タワーを取り囲むように多数の家屋が建ち、そのほとんどが古い木造家屋だった。子ども達はその津波避難タワーで楽しそうに遊んでいたが、その子達の家は、目の前にある古い木造家屋とのことだった。南海トラフの巨大地震が発生した時、果たしてこの子達は、目の前の避難タワーにたどり着くことができるのだろうか？その木造家屋が、巨大地震によって生じる揺れに耐えられるとは思えなかった。地震の揺れで家が倒壊して、その下敷きになってしまえば、目の前に津波避難タワーがあっても避難はできない。まずは揺れに対して備えることが最優先だということを、同行されていた町長さん達に訴えた。津波への備え＝避難への意識の高さに比べて、揺れへの備え＝耐震化や家具の固定等に対する意識の低さに強い危機感を覚えた出来事だった。

その数日後に「令和6年能登半島地震」が発生し、古い木造家屋がまさに倒壊して、被害をもたらした。地震による被害を減らすためには、建物の耐震性は前提であり、日本は世界的に見れば、圧倒的に建物の耐震性が高く、揺れによる被害が桁違いに少ないのは確かである。その一方で、古い木造家屋の耐震化をはじめ、公共ではない建物の揺れに対する事前の備えはなかなか進んでおらず、大地震が起こる度に、被害を起こす原因となっている。

「等身大の地震学をどう社会に役立てるか」という今回のテーマに対して、社会への役立ち方は様々だが、ここでは「揺れに対する事前の備えのレベルアップ（底上げ）を通して、地震による被害の軽減に役立てる」という観点で、「等身大の地震学」を役立てるあり方を提案したい。

2. 能登半島の地震から学んだこと

「揺れに対する事前の備えのレベルアップ（底上げ）を通して、地震による被害の軽減に役立てる」という観点で、「令和6年能登半島地震」と

それに伴う震災から私が学んだことは次の3つである。すなわち、(1) 過去に起きた最大級の地震による痕跡を突き止めることとそれをできるだけ速やかに知らせることの重要性、(2) 過去地震の知見と目の前で進行する地殻活動の知見とを繋いで将来起こりうることを想像することの重要性、(3) これらの知見を事前の備えに繋げる必要性である。

3. 過去に起きた最大級の痕跡解明とそれを速やかに知らせる重要性

今回の地震で隆起して離水した海岸には、過去の隆起を示す海成段丘が、過去約6千年前以降、少なくとも3段残っていることが、宍倉・他(2020)によって示されていた。そして、今回の地震時の地殻上下変動の分布と、海成段丘の高度が概ね調和的であり、段丘の高いところで大きく隆起していることが報告されている(宍倉・岡田, 2024)。一方で、歴史時代や近年の地震による隆起量が、上記に比べて桁違いに小さいことも示されていた(宍倉・他, 2020)。これらのことから、今回発生したような、海岸を数m隆起させる地震が繰り返し発生してきたこと、それは歴史地震や近代的な地震観測で知られているよりも桁違いに大きな規模であることが事前に分かっていて、それが実際に繰り返されたということである。

これと同様なことは2011年東北地方太平洋沖地震でも起きていた。こちらは津波堆積物だが、地質学的な痕跡として、仙台平野等に数km内陸まで津波が繰り返した痕跡が残っており、2011年に実際に繰り返された(Sawai et al., 2012)。ここで重要なことは、能登半島地震のようなプレート内の地震でも、東北地方太平洋沖地震のようなプレート境界の地震でも、過去に繰り返してきたことを示す地質学的な痕跡と同様なことが、実際に繰り返されたということである。

「揺れに対する事前の備え」をしてもらう際に重要なことは、狭義の地震学の範囲や歴史記録の範囲に留まらず、地質学的な時間スケール(遡る必要があるのは、プレートの運動が現在と同様な

年代までと考える)で過去に繰り返し発生してきた最大級を含む痕跡を、調査・分析によって明らかにするとともに、同様なことが将来も繰り返すことから、備えるべき揺れや津波として知らせることだと考える。ここで重要なことは、過去に実際に起きた痕跡のある最大級に対して備えることである。

その際に、「過去に起きたその地域で最大のレベル」の情報を、わかるところから、できるだけ速やかに発信して、少しでも早く事前対策を加速させることが重要である。その上で、過去の地震がどのような断層運動で生じたもので、どのような揺れや地殻変動、あるいは津波を引き起こしたかを、モデル計算を含めて様々な手段で解明し、備えるべき対象として、より具体的な揺れや津波像を示すことができれば、事前対策をより効果的なものとすることができる。

4. 過去の知見と現状の地殻活動を繋ぐ重要性

今回の能登半島の地震の場合、数年前から活発な地殻変動と群発地震活動が生じ、その間に被害地震も発生した(例えば Nishimura et al., 2023)。昨年5月のM6クラスの地震が発生した際、過去35年間の能登半島周辺の浅い地震の震源分布に見られる「空白域」と、1729年の地震の範囲(Hamada et al., 2016)を比べて、この歴史地震の再来の可能性については個人的に考えたものの、内陸地震の再来間隔からすればすぐに起こると思われず、その時点で宍倉・他(2020)のことも知らなかった。私自身その時点では、切迫度を示す情報がない(歴史時代だけを考えればむしろ再来する可能性は低い)のに、群発地震活動や地震活動の空白域の情報から、より大きな地震に対して備える必要性に言及することに対して躊躇してしまっていた。

結果として起きた地震は、過去に起きた痕跡が存在する最大の地震だったことから、前節で述べた通り、そのような地震への事前の備えを訴えるべきだったと考える。しかし、切迫性の情報がない中で、どのように事前の備えを訴えればよいかと考えた時に、目の前で起きている群発地震活動という「相対的に大地震の発生可能性が高まっている状況」を活かすことが、揺れに対する備えのような事前対策の底上げに対してであれば、可能ではないかということに思い至った。

「等身大の地震学」では、大地震がどれだけ切迫しているかについて、確かな答えを出すことはできない。しかし、群発地震活動やゆっくり滑りのように、それらが発生している場合に、そうでない場合と比較して、相対的に大地震発生の可能性が高まっていると言える。能登の場合、群発地震活動と元日のM7クラス地震の因果関係は明らかではないが、群発地震活動が活発な状況では、G-R則から考えても、誘発の可能性から考

ても、大地震発生の可能性は相対的に高かった。それが起きている間は、過去に起きたことのある最大レベルまでのリスクを念頭に、揺れに対する事前対策を加速することを提案したい。

別の例でいえば、今年2-3月には千葉県の下で群発地震が発生した。これはゆっくり滑りの発生によるものと考えられ、これまでも繰り返し、ゆっくり滑りとそれに伴う群発地震が起きていた。このゆっくり滑りは、1923年関東地震での壊れ残りの近傍で起きており、この地域では最大でMw7.9の地震を起こすポテンシャルがあることが示されている(Saito & Noda, 2023)。したがって、この地震による揺れや地殻変動、津波によるリスクまでを念頭に事前対策の加速をする必要があると考える。

また、東北地方太平洋沖地震の10~数年前に見られた現象である、地震活動の相対的な静穏化やb値の低下は、大地震の年オーダーでの切迫性を示唆する現象である。しかし、近い将来確実に大地震が発生する訳ではなく、相対的に大地震発生の可能性が高い状態を示す現象と同様な情報としてであれば、活かせると考える。十勝・根室沖~三陸沖では、地震活動度の相対的な静穏化やb値の低下が、この数年間続いている(例えば、松浦・他, 2023; 楠城, 2023)。十勝~根室沖では、過去に起きた最大級として500年間隔地震

(Nanayama et al., 2003)への備えをまさに進める必要がある。また青森~三陸沖では、過去の最大級が地質学的時間スケールで明らかになっているとは言えないが、備えの対象として、少なくとも1994年三陸はるか沖地震の再来は十分想定され、より規模の大きな1968年十勝沖地震を含めて海溝型地震に対する備えをまさに進めるべき状況が進行している。海溝型地震への備えは、東日本大震災以来、特に津波避難に直結しがちだが、冒頭に述べたように、まずは揺れがくるので、揺れへの備えを最優先で進める必要がある。

5. これらの知見を事前の備えに繋げる必要性

目の前の地殻活動から相対的に大地震発生の可能性が高まっていると言える時に、過去の痕跡が残る最大級に対するリスクまでを考慮した備えを加速することができれば、着実に地震による被害を軽減することができるはずである。能登の地震とその震災によって、このことの重要性を再認識した。

ここで、大地震発生の可能性が相対的に高いことを、一過性の対策である事前の避難の根拠に使うのではなく、揺れに対する備えの底上げのような、その時に対策をしておくことで、将来にまで効果的に役立つ対策をすることが本質的である。そうすることで、「等身大の地震学」の実力に見合った曖昧さを含む情報であっても、役立つことができる。

大地震発生の可能性が相対的に高まった特定の期間、特定の地域に対して、揺れに対する備えをレベルアップ（底上げ）するといっても、対策の中身は様々なレベルがあり、どのレベルでも、現時点では加速する仕組みはどこにもない。とはいえ、揺れへの備えに対する事前対策は、国や自治体等で、様々なレベルでもともと進められている。重要なことは、こうした取り組みと、大地震発生の可能性の相対的な高まりの情報とを結びつけて、取り組みを加速できるようにすることである。

6. 「地震がいつ起こるかを知りたい」というニーズの罨

「被害を起こすような大きな地震が自分のところでいつ起こるかを教えて欲しい」というニーズは、「それがわかれば逃げる」という「事前対策としての避難」とセットになっている。そのため、時間の精度としては、一時的に逃げておける期間、すなわち高々1～2日間が求められ、場所と規模についても、特定の場所からの避難が必要になるような大規模な地震が、上記の期間の間に起こるかどうかに答えなければならない。いずれも「等身大の地震学」には答えられないことが「事前対策としての避難」には求められる。

「地震がいつ起こるかを知りたい」のニーズが、「等身大の地震学」に答えられない以上に問題なのは、このニーズには「揺れに対する備えをしないで済ませたい」という希望が含まれていることにあると思われる。「すぐに起こるのであれば逃げる」ことの裏返しは、「すぐに起こらないのであれば何もしないで安心」ということである。

「地震がいつ起こるかを知りたい」というニーズに答えようとすることは、「揺れに対する備え」を加速するどころか、すぐ起こる訳ではない＝当面は安全と受け取られて、ブレーキをかける危険すらある。

阪神淡路大震災の際に、関西で地震が起こるとは思わなかったと言われた。しかし、過去を遡れば被害地震が繰り返し起きており、活断層もあるから事前の備えが必要である。そのことを伝えるために長期評価は始まったと理解している。大事なことは、ある場所が、過去に被害を起こす地震が繰り返し起きてきた場所であって、将来もまた繰り返すことを知ってもらい、その上で、そのときのための事前の対策（特に揺れへの備え）を実際に進めてもらうことである。いつ起きるかがはっきりわからなくても、そのような事前の備えを進める工夫はできるはずであり、「いつ起こるか」に答えようとして逆効果になることはぜひ避ける必要がある。その意味でも、前節までに述べた、「揺れに対する備えを加速する」という目的のために「等身大の地震学」を活かすことを徹底していく必要があると考える。

7. 結論

「揺れに対する事前の備えのレベルアップ（底上げ）を通して、地震による被害の軽減に役立てる」という観点で、「等身大の地震学」を役立てるあり方として以下を提案する。

まず、揺れた後に無事でなければ避難もできないことを踏まえると、揺れに対する事前の備えを進めることが、地震（その後の津波も含めて）による被害軽減にとって最優先である。その上で、

(i) 狭義の地震学の範囲に留まらず、地質学的な時間スケールまで含めて過去に起きた最大の揺れ・地殻変動・津波を含む痕跡を明らかにして、各地域で備えるべき最大限のレベルや範囲を知らせる。

(ii) 群発地震活動やゆっくり滑りをはじめ、相対的に大地震発生の可能性が高まっていると考えられる現象を確実に捉え、何が起きているかを知らせるとともに、併せて、(i)の備えるべき最大限のレベルや範囲を改めて周知する。

(iii) (ii)によって防災意識が高まっている、あるいは高めたタイミングを最大限に活用して、(i)の最大レベル・範囲を考慮した、揺れに対する事前の対策を加速するための仕組みを作る。

(iv) (ii)が生じる度に、(iii)の事前対策を加速する仕組みを(i)で関係する地域で発動させることで、様々な地域での事前対策を着実に底上げ・レベルアップしていく。

これによって、大地震が将来起きた際に、「こんなところで地震が起きるとは思わなかった」ではなく、「備えておいてよかった」が増えていくように、「等身大の地震学」を役立てていきたい。

上記の実現にとって一番の課題は、(iii)の仕組みを作ることであることは言うまでもない。どこから手をつければいいのかと考えていたが、千葉県群発地震やゆっくり滑りと関東地震の壊れ残りのすべりによる海溝型巨大地震に備えるということに対しては、自分自身が対象地域の住民であり、対象地域に事業所のある職員でもある。当事者の立場で、この地域の揺れに対する事前対策が県や基礎自治体、あるいは国の関係組織でどのように進められているのかを学ぶとともに、それを加速するためにどのような仕組み作りが必要か、揺れに対する対策の専門である工学系の研究者の方々や国の関係組織、自治体等の方々に相談しつつ、実際の動きを始めたい。

参考文献

Hamada, M., Hiramatsu, Y., Oda, M., Yamaguchi, H., 2016, Fossil tubeworms link coastal uplift of the northern Noto Peninsula to rupture of the Wajima-oki fault in AD 1729, *Tectonophys.*, **670**, 38-47.

松浦律子・石辺岳男・橋間昭徳, 2023, 北海道東方沖の相対的地震活動度の静穏化のその後: 有意検出から10年後の現状, 地震予知連絡会会報,

111, 537-545.

楠城一嘉, 2023, 北海道・東北沖の地震サイズ分布 (b 値) の時空間変化, 地震予知連絡会会報, 111, 549-553.

Nanayama, F., Satake, K., Furukawa, R., Shimokawa, K., Atwater, B.F., et al., 2003, Unusually large earthquakes inferred from tsunami deposits along the Kuril trench, *Nature*, **424**, 660–663.

Nishimura, T., Hiramatsu, Y. and Ohta, Y., 2023, Episodic transient deformation revealed by the analysis of multiple GNSS networks in the Noto Peninsula, central Japan. *Sci. Rep.*, **13**, 8381, <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35459-z>.

Saito, T., and A. Noda, 2023, Mechanically Coupled Areas on the Plate Interface in the Kanto Region, Central Japan, Generating Great Earthquakes and Slow-Slip Events, *Bull. Seismol. Soc. Am.* **113**, 1842–1855, doi: 10.1785/0120230073.

Sawai, Y., Namegaya, Y., Okamura, Y., Satake, K., and Shishikura, M., 2012, Challenges of anticipating the 2011 Tohoku earthquake and tsunami using coastal geology. *Geophys. Res. Lett.*, **39**, L21309, <https://doi.org/10.1029/2012GL053692>.

宍倉正展・越智智雄・行谷佑一, 2020, 能登半島北部沿岸の低位段丘および離水生物遺骸群集の高度分布からみた海域活断層の活動性, *活断層研究*, **53**, 33-49.

宍倉正展・岡村行信, 2024, 能登半島北部周辺海域の活断層と沿岸の隆起痕跡, 地震予知連絡会, <https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/activity/242/image/242/025.pdf>.

地震予知研究結果の社会実装

一般社団法人防災減災技術開発機構 藤縄幸雄
千葉大学大学院融合理工学府 野田洋一

地震学の成果を踏まえ、地震予知に関して社会実装することを目指してここ数年努めている。マグニチュード7クラス以上の被害地震の短期予知の実用化を目指し、2018年から2022年のほぼ4年間研究を実施し、概念検証を終えて成果を公刊した。現在は、社会実装のための追加研究および本格的開発の模索の段階になっている。

1. はじめに

地震予知に関する研究は、地震活動、地殻変動、地下水、電磁界変動などの多方面において実施され、且つ時間的にも直前、短期、長期と、多彩な探求が行われてきた。地震発生の予知、予測技術は発展途上であり不確実ではあるが、成長型のシステムを開発して、結果には確度を持たせることで、社会実装の実現には価値があると考えている。

我々は、ボアホールを使った電磁界変動観測により平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(以下、東北地震)の9日前からの記録に地震発生の1週間ほど前にULF帯(ほぼ400 Hz)の現象(マイクロクラック)を検出し、直前予知に使える可能性があることを認識した。しかし、その観測網が整備されておらず、当面社会実装は期待できず、一方で、地震活動、地殻変動による研究は、観測網の整備がなされていることから、多面的な研究がされており、社会実装可能性がある。東北地震での経験でも数日前に微小破壊を検知していることから、対象を直前の極微小地震(公式カタログに載らないほど小さい微小地震)と高周波微動に的を絞ることとし、防災科学技術研究所の高感度地震観測網(Hi-net)のデータを使うこととした。可能な限り全ての極微小地震、高周波微動などのイベントを調べ、“高周波微動等カタログ”を作成し、地震発生直前に、異常が発生するののか否か、直前地震予知に役に立つ情報をどう引き出すかについて調べた。

2. 方法

2011年の東北地震につき、北は青森県、南は千葉県までのHi-net 28観測点を選び、地震直前の1カ月、特に地震直前1週間で高周波微動等が顕著に増大しているかを目視で調べた。その結果、地震の直前に幾つかの観測点で、確かに本来の地震でない微動・地震イベントが複数種あることを確かめ、何回かの試行錯誤の後、2種の微小地震と4種の高周波微動イベント(HFTs)などを選んだ:

No. 1 近地極微小地震(極微小地震), No. 2 遠地極微小地震(やや遠地の極微小地震), No. 3 近地高周波的地震(紐型), No. 4 近地高周波の微

動(群発型), No. 5 遠地高周波の微動(イベントNo. 4の低周波形), No. 6 複合高周波の微動(イベントNo. 3の変形)。この選択は、スロースリップに伴う低周波微動に比べ高周波数帯の現象であり、また継続時間30秒以内で低周波微動とは殆ど重なっていない。

過去に発生した大地震である熊本地震(Mj 7.3, 2016/4/16 01:25), 新潟県中越沖地震(Mj 6.8, 2007/7/16 10:13)及び岩手県内陸南部地震(Mj 7.2, 2007/7/16 10:13)を例にとり、評価域は震央を中心として震央距離の小さい順に20点の観測点が入る円形の領域とし、評価域の周辺に20 kmの分離帯を設け、その外側に同じく20点の地震観測点が入る領域を参照域として選んだ。各イベントの発生数を1時間ごとに求め高周波微動等の基本指標とし、12時間ごとにサンプルした。観測期間2カ月の内、地震直前の1カ月(評価期間)の平均値を M_{ij} 、標準偏差を σ_{ij} とし、閾値 $NC_{ij}(=M_{ij}+1.3\sigma_{ij})$ を定めた。観測値がそれを超えるときは、閾値越えとし、“1”を、閾値越えしない場合、“0”を付与し、“スコア”と名づけ、スコアが1の場合異常を「感知」と判定した。

例として前兆現象を判別するうえで重要な役割を果たすこととなる3種の高周波微動等が観測された熊本地震におけるイベント6の時間変化を調べた(図1)。解析期間は2カ月間で、総スコアが3~9のピークが5~10か所にあるが、まず地震直前の4月13日午後には顕著なピークがあることに注目した。前震に関する研究を参照し、地震直前の空間的な急速拡大と“類似”の異常現象と考え、直前前兆現象候補とした。同じように6週間前のピークを初期前兆現象候補とした。一方中間(地震前ほぼ4週間前)のピークを中期前兆現象候補とした。他方総スコアの時間変化を見ると、中ぐらいの大きさのピークが数個所に見られピークの判別では、一般破壊法則を参照してその時間微分(加速度)を加えることとした。判別では、初期、中期、直前別に、ピーク値および増大値の閾値を定めた。閾値を定める条件としては、評価域では3種の前兆現象が定まった時間順で検知されること、参照域では、どの現象も検出されないことを条件とし、加えて一定の数以上のイ

ベントが感知され信頼度が高いという条件を付した。

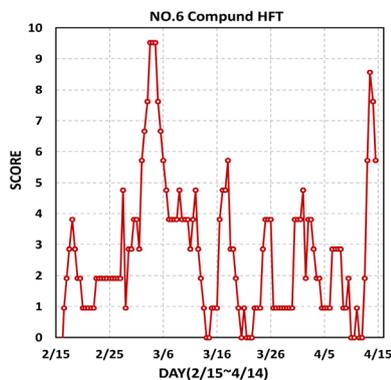


図1 高周波微動イベント(No.6)のスコアの地震前2か月間の変化

3. 結論

感知スコアの時系列を用い、ピークの3地震共通判別法(熊本地震, 新潟県中越沖地震, 岩手県内陸南部地震)により, 前兆現象か否かを判定した結果, 直前前兆現象と共に, ほぼ4週間前に活発な活動(中期予測), 6週間前に初期前兆現象が検知されることが分かった。その結果, 本震の発生直前約1週間前(0.5±0.3w)の“直前前兆現象”, ほぼ4週間前(4.6±0.4w)の“中期前兆現象”, 約6週間前(6.4±1.2w)の“初期前兆現象”を判別できた。

各前兆現象の検知時刻から本震発生時間を, 前兆現象検知観測点の分布面積からマグニチュードM(±0.3)を, 検知観測点の平均位置から震央(±0.4°)を, 実用に供する精度で推定することが分かった。

本取り組みにおいて提案する地震予知技術は, 多数の被害地震の解析により, AI技術も活用して, 地震前兆現象の判別を行い, 一般的な特徴となる前兆現象のデータベース(DB)を構築することと, DBを基にした地震前兆現象のリアルタイム監視システムの開発が求められる。重要であることは不確実な予測結果に確度を持たせることと, より精度の高い予測を実現するための成長型のシステムの開発を目指すことではないかと考えている。

謝辞

本研究を遂行するにあたり某電気通信事業者の全面的なご支援, 有益なご指導とご助言を賜り深く感謝いたします。

参考文献

- Fujinawa, Y., Y. Noda, K. Takahashi, M. Kobayashi, K. Takamatsu, and J. Natsumeda, Field detection of microcracks to define the nucleation, International Journal of Geophysics, Article ID 651823, 18 pages, 2013, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/651823>.
- Jones, L. M. and P. Molnar, Some characteristics of foreshocks and their possible relationship to earthquake prediction and premonitory slip on faults. J. Geophys. Res. **84**, 3596-3508, 1979.
- Scholz, C. H., The mechanics of earthquake and faulting, 2nd ed., Cambridge Univ. Press, Cambridge, p. 471, 2002.
- Obara, K., H. Hirose, F. Yamamizu, and K. Kasahara, Episodic, slow slip events accompanied by non-volcanic tremors in southwest Japan subduction zone, Geophys. Res. Lett. **31**, L23602, 2004, <doi:10.1029/2004GL020848>.
- 気象庁・気象研, 平成28年(2016)熊本地震について, 12-8, 地震予知連絡会報, **96**, Y2016.
- Fukuzono T., A new method for predicting the failure time of a slope, Proc. of IVth Int. Conf. and Field Workshop landslide, 145-150, 1985.
- Voight B, A relation to describe rate-dependent material failure, Science, **243**, 200-203, 1989.
- 大中康譽・松浦充宏, 地震発生の物理学, 東京大学出版会, pp. 378, 2002.
- Fujinawa Y., Y. Noda, M. Miyagawa, Y. Katsuta and I. Oosumi, A practical prediction methods of major earthquakes using high-frequency tremor events, Current Journal of Applied Science and Technology, **41**, Issue 44, Page 8-23, 2022; Article no.CJAST.94206, ISSN: 2457-1024.
- Fujinawa Y., Y. Noda, M. Miyagawa, Y. Katsuta and I. Oosumi, A practical method for short-term earthquake prediction using multiple high-frequency tremor events, Asian Journal of Physical and Chemical Sciences, **10**(3): 15-24, 2022; Article no. AJOPACS. 92429, ISSN: 2456-7779.

特別シンポジウム 大地震発生！「1週間程度は注意」の次は？ —後発地震と臨時情報—

開催概要

日時：2022年7月23日（土）13:00～15:30

場所：オンライン（Zoom ウェビナーでの開催を予定）

主催：公益社団法人日本地震学会

企画：地震学を社会に伝える連絡会議 特別シンポジウム企画運営 WG

申込方法：事前申込制

参加費：無料

プログラム：

会長挨拶 小原 一成（東京大学地震研究所）

講演「情報の背景について」 山岡 耕春（名古屋大学環境学研究科）

講演「『1週間程度』その居心地の悪さ」 谷原 和憲（日本テレビ）

講演「大きな地震連鎖の確率とシナリオをどう求める」

尾形 良彦（統計数理研究所）

講演「プレート境界の現状把握と推移予測研究の現状と課題：予測情報活用の仕方のパラダイムシフトを踏まえて」 堀 高峰（海洋研究開発機構）

ディスカッション

*本シンポジウムは、地震学会会員、および、地震や防災の基礎知識を有する専門家に向けた内容ですが、非会員の方も聴講いただけます。専門的な内容や議論となる場合がありますが、ご了承ください。

*申し込み等でご提供いただいた個人情報 は特別シンポジウムに関わる事務にのみ使用し、日本地震学会のプライバシーポリシーに基づいて取扱います。

開催趣旨：

現在、気象庁は、大きな地震が発生したときに、後発地震（余震）に関する注意を促している。多くの場合、後発地震は最初の地震よりもマグニチュードは小さいが、ある確率で後発地震のほうがマグニチュードが大きくなる場合がある。2016年熊本地震では被害をもたらした地震（Mj6.3）の28時間後にMj7.3の地震が発生した。さらに、2011年東北地方太平洋沖地震の2日前にMj7.5の地震が発生している。その一方、後発地震のマグニチュードが小さくても、場所によっては最初の地震よりも大きな揺れに見舞われることがある。2011年東北地方太平洋沖地震でも、地域によっては本震よりも大きな被害を生じる余震が発生したり、震源域から遠く離れた地域での被害をもたらす誘発地震（2011年長野

県北部地震、Mj6.2 など)が発生した。また、10年以上経過した現在でも被害地震が発生している(2021年福島県沖の地震、Mj7.3など)。

このようなことを踏まえ、気象庁は後発地震に関する注意の呼びかけを行い、さらに南海トラフ沿いで、M7クラスの地震が発生した際には臨時情報(巨大地震注意)を、M8クラスの地震が発生した場合には臨時情報(巨大地震警戒)を発表し、1~2週間程度の注意や警戒を求めている。しかしながら、いずれの場合も普段よりも大地震発生の確率は高まっているものの、絶対的な地震発生確率は低い。それでも、甚大な被害が想定される南海トラフ沿いの巨大地震に加え、いわゆる日本海溝・千島海溝域の巨大地震についても政府は注意情報を出す方向で検討をしている。

このような地震発生と注意の呼びかけの状況を踏まえて、大規模な被害地震が発生した場合、その後の社会への注意の促し方は、今後どのように進んで(変化して)いくべきであろうか。またその一方で、観測技術は日々進歩し、地殻変動や地震活動に加え、プレート境界ではスロースリップの観測もリアルタイムで行われる時代である。これらの情報を取り込んで、「少し先の予測」はできるのだろうか? 将来発生する地震(ハザードを含む)の情報提供の現状を整理するとともに、社会に対して情報を伝える観点から、今後の方向性について議論をしたい。

講演概要

『1週間程度』その居心地の悪さ(谷原 和憲、日本テレビ)

最近の地震情報に接する時、その情報が「科学的には正直」に書かれているあまり、受け手は戸惑うことが多い。例えば後発地震に関する情報。「今後1週間程度、同程度の地震に注意」と書かれ、そこには「本震・余震型か前震・本震型か、現時点では『わからない』ので…」という発信者のお断りが込められているが、受け手は「いつも同じような言い方ばかり」と受け止めがちだ。また南海トラフ地震の臨時情報にしても、最初の地震があって、次の地震が起きる可能性は「相対的に高まっている」と言うのに、求められる行動は日常通り、「備えの再点検」で良いというのが腑に落ちない。次の地震が起きるのがいつなのか? すぐなのか? 1週間後か? 1か月後か? 1年後か? は『わからない』…という科学の限界は明示されていないからだ。

最近の地震情報は『これ以上はわからない』を前提にした新しいタイプの防災情報と言えるが、情報の伝え方・受け止め方には“新たな作法”が必要だ。

大きな地震連鎖の確率とシナリオをどう求める(尾形 良彦、統計数理研究所)

わが国では、1995年阪神淡路震災以来、余震の発生確率が発信されてきたが、2016年の熊本地震の事態を受けて、数値的な予測の公表を控えている。しかし、熊本地震のケースは確率的に異例ではない。しかも本震と同規模またはそれ以上の地震は本震から数日以内に起こり易い。そのため、大きな地震の直後の検出能力の低下による余震データの欠損を

統計的に克服し、直後からの確率予測を開始できることが望ましい。

また事後の中・長期予測ではETASモデルを活用することが考えられるが、地震学的知見による想定シナリオや多様な地震活動の個性に対応して、時空間的な予測を実施することが求められる。例えばカリフォルニアでは、断層区分モデル群に基づく確率的シミュレーション法(UCERF3-ETAS)が提案され、研究されている。本講演では、さらに昭和期の南海トラフ連鎖地震前後の地震活動のいくつかの特徴を議論し、連鎖地震の蓋然性をリアルタイムで追求できる時空間予測の課題を展望したい。

プレート境界の現状把握と推移予測研究の現状と課題：予測情報活用の仕方のパラダイムシフトを踏まえて（堀 高峰、海洋研究開発機構）

南海トラフ地震発生の可能性が相対的に高まったという予測情報を何のために使うのがより防災につながるだろうか？ 国の防災対応ガイドラインでは、予測情報を受けた対策と並んで、突発地震への備えとして事前対策が重要とされ、後発地震への備えにもなるとされている。だとすれば、予測情報が事前対策の促進につながるような社会の仕組み作りができれば、あるいは、事前対策の促進につながるような予測情報を出すことができれば、予測情報を出すたびに、大地震への備えが確実にレベルアップしていくことになる。そこを目標として設定した場合、プレート境界の固着・すべりの時空間変化の現状把握とその先の推移予測からはどのような情報を引き出すことができるか、それらの情報がどのように事前対策の促進につながると期待されるかを、研究の現状と課題とともに議論したい。

余震と南海トラフ地震の「1 週間」問題で特別シンポジウム
「臨時情報」を突発地震対策の強化に活用も

時事通信社解説委員 中川和之

日本地震学会は7月23日、「大地震発生！『1週間程度は注意』の次は？ 後発地震と臨時情報」と題した特別シンポジウムをオンラインで開催しました。3人の研究者と報道関係者からの講演の後、200名を超える参加者からの質問を交えたパネルディスカッションを行いました。

導入から3年以上経っても、社会に浸透していない南海トラフ地震臨時情報。6年前の熊本地震で、M6.5の地震の28時間後にM7.3の本震があったことから、「余震」という言葉を直後には使わなくなった余震の情報。いずれも地震の後にどういう地震が起きるかという「後発地震」の問題です。

シンポジウムでは、まず山岡耕春氏（名古屋大学）が、『1週間』にまつわる経緯」と題して、地震調査研究推進本部や内閣府（防災）のワーキンググループでの議論を改めて整理して紹介。事前避難の継続など「社会」の受忍限度から臨時情報の1週間が決まった一方で、大地震発生後1週間程度は同規模の地震が起こる確率が高いという地震学的知見を踏まえ、「最大震度が同程度の地震に注意」という情報の出し方になったと解説。リアルタイムでモニタリングできつつある現状で、それらの情報をどう扱って、被害軽減につなげるかと問題提起しました。

谷原和憲氏（日本テレビ）は、「分からないことは、分からないと言おう」という専門家の議論から始まって、本来なら「分からないなら社会はどうするか」という流れになるはずが、臨時情報が従来のような行動指南型の防災情報のように扱われていると指摘。「何も起きないまま、8日目を迎える報道が最も難しい。メディアでは背負いきれない」とし、「個々人が考える With コロナのような、“分からない”から始まる防災対応に進んでいない」と改善の必要性を訴えました。いまの余震情報は「金太郎飴のように同じ内容」で、伝える価値が減っているとしました。

尾形良彦氏（統計数理研究所）は、地震の起こりやすさを評価する手法でもあるETASモデルの現状について解説し、3年前にカリフォルニアで、M6.4の1週間後にM7.1の地震が起きた際、米国地質調査所（USGS）が将来今後大きな地震が起こる確率をそれぞれ4%、1%と発表している事例に加えて直後の確率を紹介。昭和の南海トラフ地震前後に相次いだ地震をETASモデルに当てはめた動画を見せながら、将来の南海トラフ地震の際に定量的な見積もりが出来る可能性はあるとしました。

最後に、堀高峰氏（海洋研究開発機構）が、リアルタイムのモニタリングの現状を紹介。

割れ残りの分布から応力状態を推定して今後のシナリオを考える手法もできてきているとして、いま地下で何が起きていて、今後どのようなことが起こるのか、曖昧さも考慮して伝えていけるよう研究を進めていると説明。地震の可能性が高まっているという情報の活かし方は、工学や社会学、一般の方との議論が求められるとしました。

参加者からの質問も交えてのパネルディスカッションでは、尾形氏が「各種の地震発生モデルを含めて予測が出来るようになってきており、今後の若い人に期待したい」と語り、山岡氏は「(東海地震の予知情報の時代から) コンサバに振った結果が臨時情報や後発地震の情報」としつつ、現状は後発地震の評価や南海トラフのシナリオの活用などへの「プロセスにある」と分析。一方、谷原氏は臨時情報後に地震が起きなくても、家具固定の促進などの一歩前進につながると指摘、堀氏は南海トラフ地震の臨時情報を出すレベルを下げて頻度を上げれば、理解も進み地震対策の強化にもなると語りました。

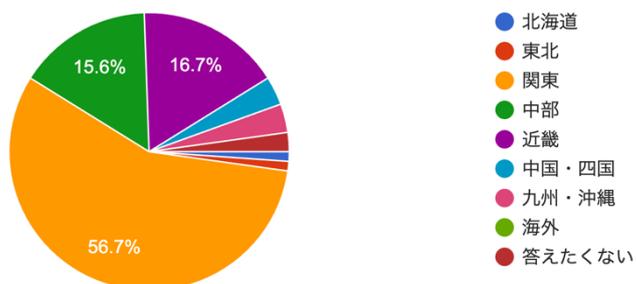


特別シンポジウムのパネリスト

特別シンポジウム「大地震発生！「1週間程度は注意」の次は？—後発地震と臨時情報—」（2022年7月23日）のアンケート結果（回答数 90）

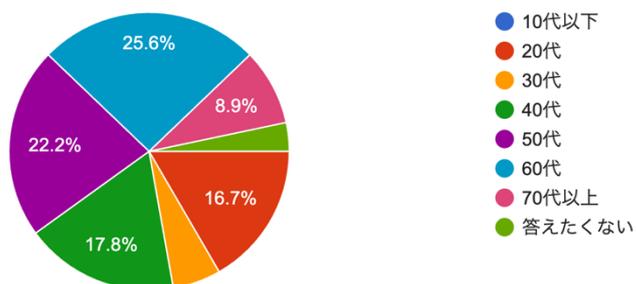
Q1. お住まいの地域を教えてください。

90件の回答



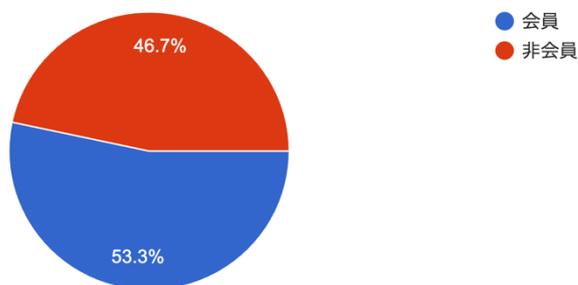
Q2. 年代を教えてください

90件の回答



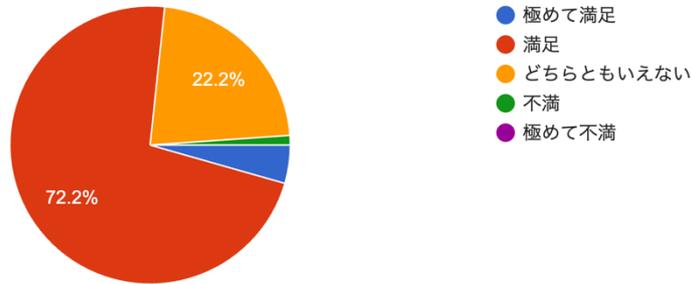
Q4. 日本地震学会の会員ですか？

90件の回答



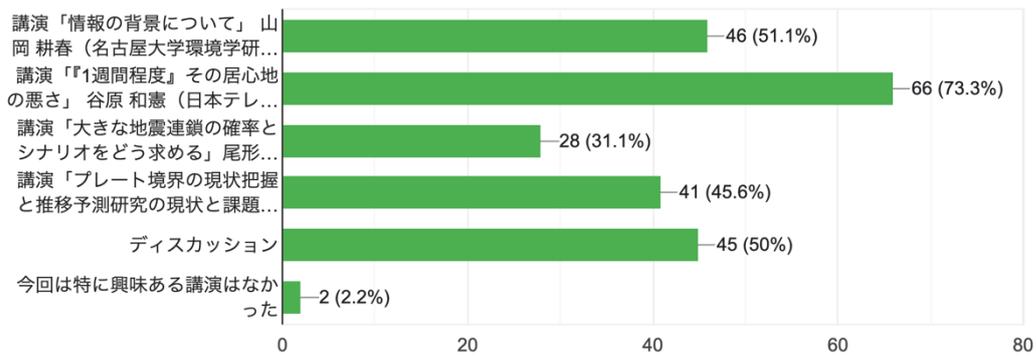
Q5. 今回のシンポジウムに対する満足度を教えてください

90件の回答



Q7. 特に興味を持った（満足した）講演を教えてください（複数回答可）

90件の回答



特別シンポジウム 「等身大の地震学」をどう防災に役立てるのか？ —確率論的地震ハザード評価とシナリオ型地震被害想定とその利活用—

開催概要

日時：2022年12月24日（土）13:00～15:30
場所：オンライン（Zoom ウェビナーでの開催）
主催：公益社団法人日本地震学会
協賛：公益社団法人日本地震工学会
企画：地震学を社会に伝える連絡会議 特別シンポジウム企画運営 WG
申込方法：事前申込制
参加費：無料

プログラム：

会長挨拶 小原 一成（東京大学地震研究所）
趣旨説明 『等身大の地震学』をどう防災に役立てるのか？ 久田 嘉章（工学院大学）
講演 1 「地震・津波ハザード評価と地震・津波被害想定の実状と課題—ハザードと被害の
両方を確率論的に評価する必要性と現状—」 平田 直（東京大学名誉教授）
講演 2 「地震・津波ハザード情報とその利活用」 藤原 広行（防災科学技術研究所）
講演 3 「地震・津波ハザード情報とリスクコミュニケーション」 矢守 克也（京都大学）
パネルディスカッション
司会：山岡 耕春（名古屋大学）
パネリスト：平田 直、藤原 広行、矢守 克也（既出）

*本シンポジウムは、地震学会会員、および、地震や防災の基礎知識を有する専門家に向けた内容ですが、非会員の方も聴講いただけます。専門的な内容や議論となる場合がありますが、ご了承ください。

*申し込み等でご提供いただいた個人情報は特別シンポジウムに関わる事務にのみ使用し、日本地震学会のプライバシーポリシーに基づいて取扱います。

開催趣旨：

日本地震学会「地震学を社会に伝える連絡会議」では、地震学の現状（等身大の地震学）を社会に伝えると共に、社会からの地震学への要請を受け止めて学会の今後の活動にも役立てる活動を行っています。

2022年度は第1回特別シンポジウム「大地震発生！「1週間程度は注意」の次は？—後発地震と臨時情報—」を7月にオンラインで開催し、200名を超える方々に参加頂き、多数の貴重な意見を頂きました。そこでは「地震観測システムが整備されて予測理論も進ん

でいるが、後発地震や臨時情報に十分に活用されていない」、「地震発生後に適切な対応を行うためには平時における対策や取り組みが重要」、「現在の「等身大の地震学」である確率論的地震ハザード評価は一般市民には理解されていない」などご意見を頂きました。また国や自治体で実施している最大級地震によるシナリオ型被害想定が「30年70%の発生確率」などの情報と混在して伝わり、市民や地域が行える適切な対策を妨げているのではないか、などが議論されました。

そこで今回のシンポジウムでは「等身大の地震学をどう防災に役立てるのか？」をテーマとして企画しました。あらためて不確実性を伴う地震・津波ハザード情報や被害想定の実状を確認し、そのハザード・リスク情報をどうすれば自治体、メディア、一般市民に理解いただき、今後の防災対策に役立てるべきか、などを考える機会にしたいと考えています。

講演概要

地震・津波ハザード評価と地震・津波被害想定の実状と課題 ―ハザードと被害の両方を確率論的に評価する必要性と現状― (平田 直、東京大学名誉教授)

地震による強い揺れや高い津波に対する適切な対応が行われないと、社会は大きな損失を被る。そのために、強い揺れと高い津波は、社会の「リスク (危険性)」になっている。ここで、「リスク (危険性)」とは「不確実性」である。もし、揺れの強さが予め分かっていたら、それに耐えられる建物・構造物を作れば人的な損害はない。確実に発生する高い津波には、それに応じた防波堤を作るか、津波浸水域を立ち入り禁止にすれば、人的な被害はない。しかし、滅多に発生しない強い揺れに耐えられる建物を作る経済的な「損失」、滅多に発生しない浸水域を使用禁止にする社会的な「損失」が発生する。つまり、揺れが大きいことが「リスク」ではなく、揺れの大きさが不確実であることがリスクである。

このリスクを「回避」するために、揺れや津波高の「不確実性の度合い」を評価して、それに応じた損害を評価して、適切な「投資」を行う必要がある。不確実性の一部は、確率論的に評価できる。不確実性は、事象の発生確率分布を評価することで可能である。揺れのリスクは、揺れの期待値の大きさではなく、揺れの分布のばらつき (分散) である。

不確実性には、偶然的な不確実性 (aleatory uncertainty) と認識論的な不確実性 (epistemic uncertainty) が知られている。「リスクとは不確定なことについて確率的に計測できるもの」という経済学のある分野での定義がある。この考えに基づくと、「認識論的な不確実性」の評価は難しいかもしれない。具体例に基づいて議論する。

地震・津波ハザード情報とその利活用 (藤原 広行、防災科学技術研究所マルチハザードリスク評価研究部門)

地震動や津波の予測における不確実性を定量的に評価するための技術的枠組みとして有力と考えられているのが確率論的ハザード評価である。確率論的ハザード評価には、2 つ

の段階がある。第1段階は、地震の発生そのものに関する予測であり、第2段階は、地震が発生したという条件の下での、ある地点の地震動や津波の予測である。これら予測における不確実さは、自然現象そのものに起因する偶然的なばらつきと人間の側の認識不足に起因する認識論的不確実性の2つに分類される場合がある。地震・津波ハザード情報の活用においては、性質の異なる2つのタイプの不確実さを適切に考慮することが重要となる。特に、後者の認識論的不確実性の取り扱いは確率論的なハザード評価における大きな課題となっている。巨大災害を引き起こすごくまれな自然現象の多くは、専門家の中でも解釈に違いがあり意見が対立するなど体系的な整備が完了していない研究途上の不確実性を内包する専門知をさらに外挿することではじめてとらえられるような対象である。このため、地震や津波対策に関する意思決定では、不確実さの考慮が本質的に重要となる。

これら課題について、米国 SSHAC の検討事例、日本の地震保険、南海トラフの地震・津波対策におけるハザード情報の活用事例など紹介し議論する。

地震・津波ハザード情報とリスクコミュニケーション（矢守 克也、京都大学防災研究所）

不確実性の高いハザード情報を住民・自治体における実効性の高い対策・行動につなげるためには、「イチからニへ」、「大は小を兼ねない」、「インとアウト」、この3つの原則が重要である。目下、現場では、最大クラスの想定「一本だけ」にとらわれた取り組みが支配的であるが、この状況を、確率論的ハザード評価に関する十全な理解を伴った取り組みに一気に置き換えることは現実的には難しい。そこで、「イチ」（最大クラス）とは異なる別の想定を並置して「ニ」を実現することが、まずは有用である。その際、高台まで地上を無理して遠距離避難する人びとがそれほど大きくはない津波に巻き込まれるなど、「大は小を兼ねない」も重要な考慮要素となる。要するに、ひとまず、あるハザード情報へ「イン」（コミット）する心理的状态と、それを「可能だが必然ではない」ものとして、そこから「アウト」する心理的状态、この両方を促進するリスクコミュニケーションが、「想定外」に対抗するコミュニケーションスタイルとして要請される。そのための試みとして、訓練支援アプリ「逃げトレ」によって収集した避難行動データを分析するシステム「逃げトレ View」や、臨時情報発表時に住民等が直面する「究極の選択」を素材にしたビデオ教材「どうする私？」について紹介する。さらに、南海トラフ地震防災対策推進地域に指定されている自治体を対象に今年実施した、臨時情報に対する対応に関する大規模な質問紙調査（470自治体より回答）の結果についても報告する。

“確率は誰にとって有効か”，“市民にも確率に応じた選択肢を”，
“ばらつきの小さいことから対策を”，“幅のある可能性への対策は研究者が
一緒に考える” =防災に役立てる「等身大の地震学」で特別シンポ

地震学を社会に伝える連絡会議・特別シンポ WG 中川和之

2022 年 12 月 24 日（土），（公社）日本地震学会主催の特別シンポジウム『等身大の地震学』をどう防災に役立てるのか？—確率論的地震ハザード評価とシナリオ型地震被害想定とその利活用—が，Zoom ウェビナーで開催されました。「等身大の地震学」という表現は，東日本大震災後に学会で定めた行動計画 2012 で使われた言葉で，地震学の現状で分かっていることだけでなく，分かっていることも含めて伝えることを強く意識した言葉です。そのような地震学の成果を，どう防災，減災に役立てればよいか，地震の確率評価とシナリオ想定との利活用に焦点を当てて議論し，200 人を超える参加者がありました。

冒頭，小原一成会長（東京大学地震研究所）が，「限りある地震学の成果をどう役立てるか，社会からの要請にも耳を傾けて一緒になって考えていく必要がある。それが，会員の研究にもフィードバックされ，防災に繋がっていくことも期待する」と挨拶してスタート。地震学を社会に伝える連絡会議の議長も務める久田嘉章副会長（工学院大学建築学部）が，7 月に行った後発地震と臨時情報のシンポをふり返り，「非常に不確実ななかで，対策を進めていかねばならないことが改めて確認されたとともに，確率的な評価が理解されないまま，最大級想定だけで脅す防災となってしまう。結果として，あきらめも呼んでいることも問題」と指摘。「確率的には小被害の地震も多く，風水害対策で導入されてきている多段階リスク的な考え方は，地震防災でも可能なはずで，そういうこともふくめて検討したい」と，前回のシンポから発展したこの日の主旨を説明しました。

最初の講演は，「地震・津波ハザード評価と地震・津波被害想定の実状と課題—ハザードと被害の両方を確率論的に評価する必要性と現状」と題して，東京大学名誉教授の平田直氏が，地震のハザード評価で何がリスクなのかについて話しました。「ハイリスクハイリターンという言葉のように，金融商品はリターンが不確実なのがリスクで，変動量が大いものをリスクが大きいと言う。変動がリスク。経済学では不確実性そのものがリスクであるとされており，地震でもそれを見積もる必要がある」と問題提起しました。「サンプルデータが多くなっても不確実性を低減できない偶発的な不確実性と，データや知識の蓄積で小さくすることが出来る認識論的不確実性がある。100-200 年に 1 回起きている南海トラフの巨大地震の発生予測は，学術が進歩すれば不確実性を減らせるはずだが，現状ではデータの選び方，モデルの選び方で 20-80%までばらつきがある。ばらついているの

がリスクとなる。揺れの予測の不確実性もある」と指摘しました。被害想定は、ハザード想定を元に過去の地震被害データなどを使って予測されますが、「被害を確率分布で表すことが出来れば、被害の分散を評価できるはずだが、なかなか出来ていない」としました。平田氏は「地震災害被害のリスクは、被害の値だけでなく、被害の不確実性をきちんと評価する必要がある。これには地震学だけでなく、学際的な研究が進まないと出来ない。可能な限り定量化することが必要だが、実際の不確実性は評価するのは難しい。ハザードはそれなりに評価されているが、人間の行動に関する知見は極めてばらつきが大きく、知見を積み上げる必要がある」と問題提起しました。

次に、防災科学技術研究所の藤原広行氏が「地震・津波ハザード情報とその利活用」と題して講演し、地震の確率論的なハザード評価について藤原氏は「確率の計算手法の選び方でずいぶん値が変わってくるので、利用目的で何が適切かを考えて選ばれている」とし、日本列島を1枚にまとめた地震動予測図は、南海トラフの地震に関しては、「幅を持ったものの最大で表現している」としました。藤原氏が関わった四国電力の伊方原子力発電所の地震ハザード評価のプロジェクトを紹介。米国の原子力規制当局が認識論的不確かさの評価手順を明確に定めた SSHAC (Senior Seismic Hazard Analysis Committee) ガイドラインに沿って日本で初めて取り組まれたとのこと。公開のワークショップを行いながら、地震と揺れなどの専門家からのインプットを可視化し、ロジックツリーで定量化し、できるだけオープンで客観的な手順で行われ、「日本の行政の委員会とはずいぶん違った進め方だった。人間の認識をどのように評価、可視化するか、自然科学より社会科学の領域の役割が大きかった」と解説。「何も分からない状況で偶然的なばらつきと、認識論的なばらつきが混じり合っている状況から、いくつかの考え方で整理していくと、分からなさに構造が入る。よく分からないことは残るが、違った考え方のロジックツリーを作ることができる。リスク評価で、不確実性が減り、より合理的な評価になった」と説明しました。損害保険料率算出機構が基準料率を決めている地震保険でポアソン過程を使っているのは、「切迫性を強調するのではなく、平均的な評価をしたいから」とし、「切迫性を伝えたいときには時間予測だが、地震保険では平均的な評価としているのは、認識論的な不確実性を前提にした良い事例」と述べました。2020年に公表された南海トラフ地震での確率論的津波評価では、「全部のモデルで地震が起きてどういう津波になるのか、発生確率を除いて計算した。その結果、それぞれの沿岸でどの程度の対策をすれば良いか、防潮堤などを点数付けすることもできる。最大クラスでは被害が出るが、それほど津波が高くない場合もたくさんある。『100点ではなくても60点を確保し、80点を目指しましょう』などと、努力目標、数値目標のような出来る範囲の努力をエンカレッジする情報を合わせて出していくことが重要ではないか」と語りました。

最後は、防災心理学を専門とする京都大学防災研究所の矢守克也氏が「地震・津波ハザード情報とリスクコミュニケーション」と題して講演。南海トラフ地震の巨大想定が、ポジティブな防災活動に結びつかずに諦めを産んだり、震災前の「震前過疎」が生じている

とし、「最大クラスシナリオ1本で、確率的どころか、シナリオ2つめ3つめがないまま、さまざまな施策が動いている」と指摘しました。その中で、自身が開発した津波避難訓練を支援する「逃げトレ」というスマホアプリと、現在開発中の「逃げトレ View」を紹介。実際に避難場所まで移動する訓練の際に、想定される津波から逃げ切れるか確認する「逃げトレ」の津波想定が、最大クラスのみとなっていたのをバージョンアップ。西側の半割れの津波をシナリオに加え、最悪想定と比較しながら訓練できるよう、藤原氏ら地震学者も参画して開発していると紹介。個人の訓練データを蓄積して、不確実性や多様性を考慮した避難行動を可視化し、地域や市町村などの単位で評価できるようにする計画を説明しました。矢守氏は「自然の側の『もし』である津波想定が多様性、人間の側の『もし』としてのできること有多様性、多様性にはポジティブもネガティブもあることを体感して、確率的な情報を活かすツールとして『逃げトレ View』を開発している」と紹介しました。その上で、矢守氏は「確率が付いた情報が有効なのは、それを受け取ったときに取れる選択肢が複数あり、受け取った側の人のリソース利用の重み付けが可能であることが重要。行動の選択肢が少ない場合、確率的な情報は使いづらい」と指摘。「有効に使われるのは大きな場、全国を見る政府が予算の重み付けをしたり、保険会社の地震保険、コンビニの仕入れと天気の確率などもそう」と解説しました。自治体や住民としては、「複数の選択肢を持っている実感があり、理想的には複数の選択肢の準備のアロケーションが出来る状態に置かないと活用できない」としました。

最後に、名古屋大学の山岡耕春氏がコーディネーターとなって、チャットで寄せられた質問などを元にディスカッションを行いました。まず山岡氏から、それぞれの講演者に対して質問を行いました。平田氏に対しては、「被害想定のはらつきが大きいのがリスクというが、誰にとってのリスクと考えるか」と問いました。平田氏は「矢守さんの言うように、確率に応じた選択肢がない人に確率を言っても意味がないことは尤もで、受け手を考えないと意味がない。あえて普通に答えると、国や自治体、企業は考慮しないとイケない。確率分布までなくても、はらつき、S/N 比が大きいときと小さいときでは行動が違う。被害額が大きいところからやればよいと言うことではなく、はらつきの小さいことをやるべき、という話を専門家に向かってしたつもり」と改めて解説しました。また、矢守氏に対しては「1000分の1の確率でも気にする人もいるが、どう考えたら良いのか」と問うたのに対し、「最大クラスのシナリオで津波が来る集落で、100回のうちの99回は別のシナリオで起きるとすると、より小規模な地震津波に有効な避難先に逃げる訓練もすればよい。大は小を兼ねる面はゼロではないが、1対99なのに、100対ゼロとなっている。メニュー感が一般の人にはないのが問題。それを専門家が作ってあげれば、山岡さんが期待する方向に進むのでは」としました。また、チャットでの「メディアが最悪ケースに偏重しているのが問題では」との指摘に対して矢守氏は、「最悪シナリオに偏重しているのは、報道も研究も政策もそう。特効薬があるわけではないが、自分たちの選択肢と、自分たちで選べない自然の分岐で事態が起きていく、というようなマルチシナリオ、マルチエンディングのコンテ

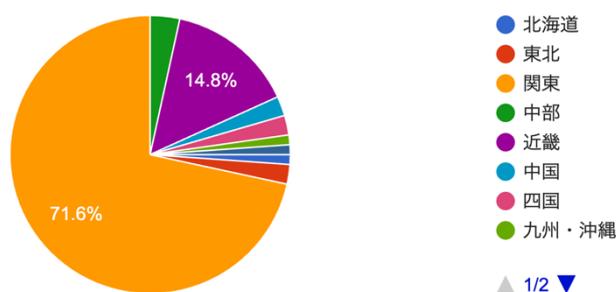
ンツを、メディアでも作ってもらおうと事態の改善に繋がるのでは」と期待を述べました。藤原氏に対して山岡氏は、「説明された堤防が津波を防ぐ確率だけでなく、そこに建っている家が壊れない確率などを出すことは可能か」と質問。藤原氏は「何らかのモデルを作れば、いろんな想定にきめ細かな判断材料は出来ると思う。ただ、一つの想定では議論が出来ないので、幅のある可能性を議論することが求められる。大半はある程度努力をすれば逃れられるので、対処が出来るという具体的なイメージを持てると思う。1/0の行動ではなく、どこまで何を備えるべきか、それぞれの地域で議論を始めて、時間がある今にどこまでやるべきかの議論を起こせる。実際の意志決定をする人と、研究者と一緒に考える場があるとよい」と、コミュニケーションの大事さを指摘しました。

地震学会では、この日の議論も活かして、地震学を社会に伝える連絡会議のワーキンググループが中心になって、引き続き特別シンポジウムを行うとともに、2023年度には一連の議論と会員からの投稿を含めたモノグラフを編集する予定です。

特別シンポジウム『『等身大の地震学』をどう防災に役立てるのか？
—確率論的地震ハザード評価とシナリオ型地震被害想定とその利活用—
(2022年12月24日) アンケート結果 (回答数 88)

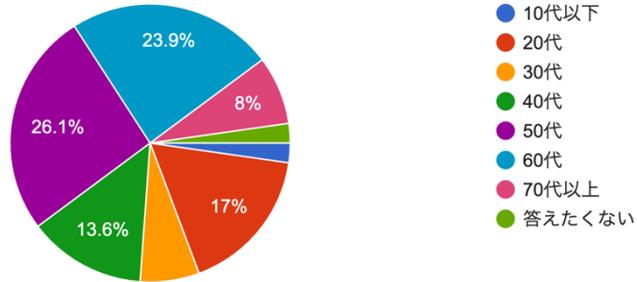
Q1. お住まいの地域を教えてください。

88件の回答



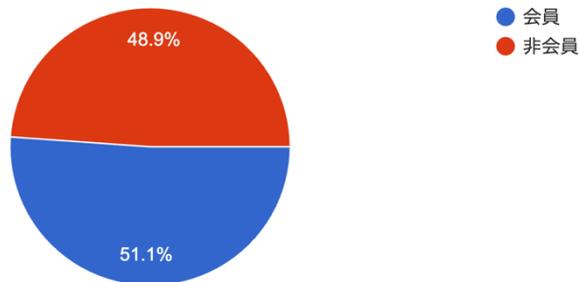
Q2. 年代を教えてください

88 件の回答



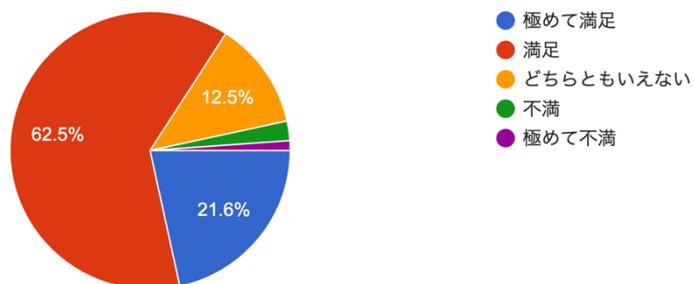
Q4. 日本地震学会の会員ですか？

88 件の回答



Q5. 今回のシンポジウムに対する満足度を教えてください

88 件の回答



特別シンポジウム 「地震学」は自治体や消防の現場にどう使えるか ー南海トラフや首都直下の対策現場から問う研究最前線ー

開催概要

日時：2023年6月16日（金）10:00～12:00

場所：東京ビックサイト 会議棟 6階（オンライン配信併用）

内容：「地震学」をどう巨大地震・大地震の対策に活かせばよいのか、自治体や消防の現場からの問いに、地震研究者が答えます。講演およびパネルディスカッションを行います。本シンポジウムは東京国際消防防災展2023の同時期開催行事です。

主催：公益社団法人日本地震学会

協賛：公益社団法人日本地震工学会

企画：地震学を社会に伝える連絡会議 特別シンポジウム企画運営WG

申込方法：事前申込制

参加費：無料

プログラム：

会長挨拶 小原 一成（東京大学地震研究所）

講演1 「地震発生はなぜ確率で表すのか？ 確率をどう理解するのか？」

平田 直（東京大学名誉教授）：

講演2 「どうする？ 南海トラフ地震」 小平 秀一（海洋研究開発機構）

質問1 「自治体の悩みと地震学者への質問」 坂東 淳（徳島県南部総合県民局長）

質問2 「消防現場の悩みと地震学者への質問」 木全 誠一（名古屋大学災害対策室）

パネルディスカッション：

司会：山岡 耕春（名古屋大学）、中川 和之（時事通信）

パネリスト：平田 直、小平 秀一、坂東 淳、木全 誠一（既出）

日本地震学会ニュースレター（第 76 巻、NL4 号、P17-18、2023.11）の
「シンポジウム報告」に掲載

東京国際消防防災展 2023
（「特別シンポジウム」報告の抜粋）

地震学を社会に伝える連絡会議・学校教育委員会・普及行事委員会

2023 年 6 月 15 日（木）から 18 日（日）まで、東京ビッグサイトで開催された「東京国際消防防災展 2023」（以下、消防防災展）に日本地震学会として協力しました。関東大震災テーマ展示エリアに展示ブースを設けたほか、子ども向けの講座を実施しました。同展の結果報告書によれば、総来場者数はのべ 166,831 人とのことです。展示や講座の企画や運営は、地震学を社会に伝える連絡会議と学校教育委員会・普及行事委員会の委員と事務局が担当しました。また、同展の同時期開催行事として、地震学を社会に伝える連絡会議による特別シンポジウムを開催しました。今回の協力に対して、東京消防庁から感謝状をいただきました（NL-4-18 参照）。

特別シンポジウム

16 日（金）には、消防防災展の同時期開催行事として、特別シンポジウム『地震学』は自治体や消防の現場にどう使えるか—南海トラフや首都直下の対策現場から問う研究最前線』を開催しました。10 時から 12 時までの 2 時間、会場は東京ビックサイト 会議棟 6 階で、オンライン配信も行いました。

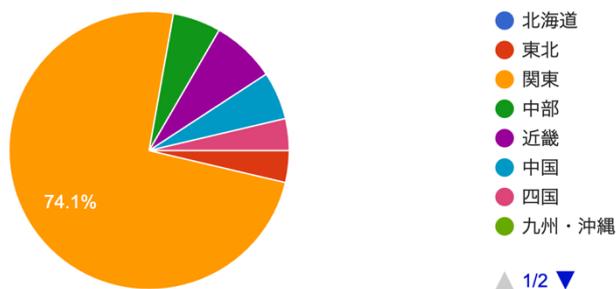
地震学会では、「行動計画 2012」に基づいて主に学会員を対象にした特別シンポを継続的に実施してきました。今回、多くの自治体や消防職員が集まる消防防災展に、東京消防庁から協力を要請されたのを機会に、昨年 12 月の特別シンポでの議論を発展させようと企画しました。現場にも研究者の事情にも詳しい徳島県南部総合県民局長の坂東淳さん、元名古屋市消防局長で現名古屋大学災害対策室参事の木全誠一さんの 2 人をパネラーに依頼しました。学会側の講師は、事前に 2 人のパネラーから出された問題点に答える形で、東京大学名誉教授の平田直さんには改めて地震の発生確率の意味について、海洋研究開発機構の小平秀一さんには南海トラフの研究最前線について、話してもらいました。「半割れ時の現場対応の議論はもっと必要」（坂東さん）、「スタートラインはいきなり高いレベルに置かなくても、対話は有意義」（木全さん）との指摘もあり、個別の現場ごとの対話の必要性を再確認しました。

この日は、現地とオンライン合わせて約 150 人が参加されました。シンポジウムの内容などは、後日、詳細な内容をモノグラフにもまとめる予定です。

特別シンポジウム『地震学』は自治体や消防の現場にどう使えるか
 —南海トラフや首都直下の対策現場から問う研究最前線—
 (2023年6月16日) アンケート結果の抜粋 (回答数 54)

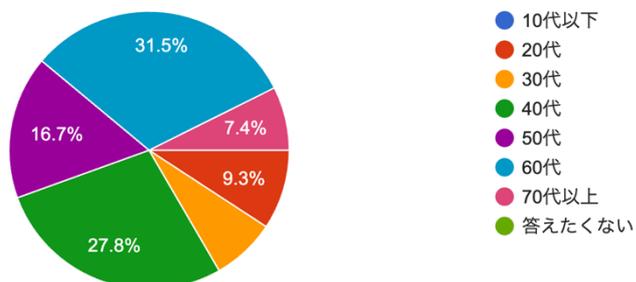
Q1. お住まいの地域を教えてください。

54件の回答



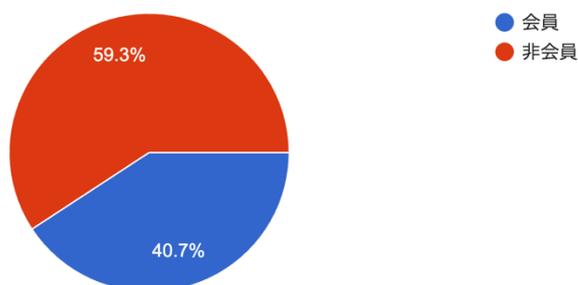
Q2. 年代を教えてください

54件の回答



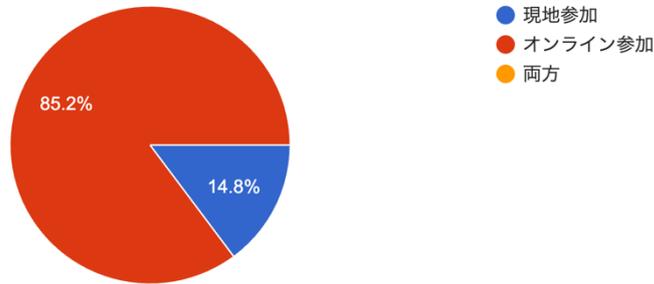
Q4. 日本地震学会の会員ですか？

54件の回答



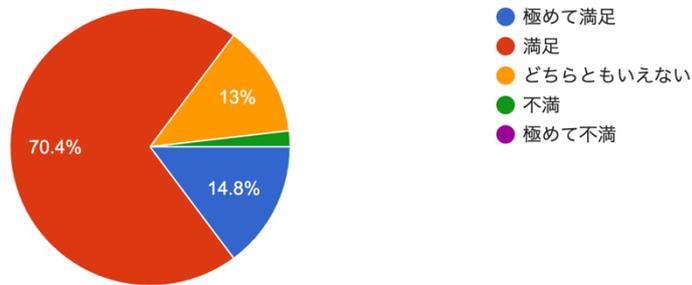
Q5. 参加方法

54 件の回答



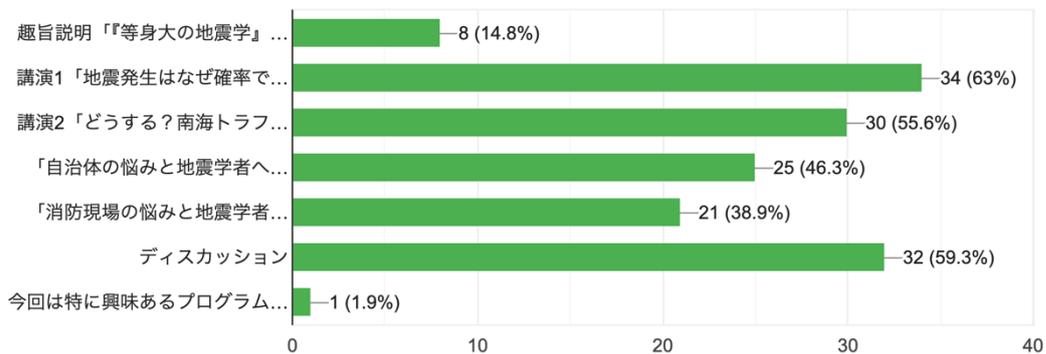
Q6. 今回のシンポジウムに対する満足度を教えてください

54 件の回答



Q8. 特に興味を持った（満足した）講演を教えてください（複数回答可）

54 件の回答



第 16 回日本地震工学シンポジウム (16JEES)
**オーガナイズドセッション「海溝型巨大地震の予測情報をめぐる防災対策と
リスクコミュニケーション-「わかりにくさ」に向き合う」の企画・実施**

開催概要

日時：2023 年 11 月 15 日 (土) 9:15 - 12:25

場所：パシフィコ横浜ノース

内容：16JEES は日本地震工学会を幹事学会として、日本地震学会、日本建築学会、土木学会、地盤工学会、日本機械学会、地域安全学会、日本活断層学会、日本災害情報学会、日本災害復興学会、日本自然災害学会、日本都市計画学会の計 12 学会により共同主催した。その際、「地震学を社会に伝える連絡会議」によりオーガナイズドセッションを企画し、実施した。

招待講演ほか：

趣旨説明「どのように『わかりにくい』地震の予測情報を出すに至ったのか」

山岡 耕春 (名古屋大学)

招待講演「南海トラフ地震臨時情報 社会は『わかりにくさ』をどう受け止めるか」

入江 さやか (松本大学)

招待講演「南海トラフ地震臨時情報：災害予測情報としての運用上の課題についての考察」

大谷 竜 (産業技術総合研究所)

招待講演「南海トラフ地震「半割れ」は社会に何をもちたらすか ～ NHK ドラマ「南海トラフ巨大地震」の現場から～」 森谷 周 (NHK)

ほか、9 題の一般講演の発表

総合討論：山岡 耕春・入江 さやか (司会：既出)



会場の様子

住民セミナー：最新科学で知る多様な南海トラフ巨大地震 ～助かる可能性をあきらめない～

開催概要

日時：2023年12月24日（日）13：30～16：00

場所：阿波海南文化村 文化館ホール（海陽町四方原杉谷73）

主催：海陽町，徳島県南部総合県民局，日本地震学会

共催：徳島県立南部防災館，徳島大学環境防災研究センター

内容：「社会活動基金」の活動として，徳島県海陽町からの申請に基づく地震住民セミナーを「地震学を社会に伝える連絡会議」と連携により以下のようなプログラムで実施した。このセミナーは，2023年6月に東京国際消防防災展2023の同時期開催行事として，地震学を社会に伝える連絡会議が企画した特別シンポジウムのパネラーを務めた徳島県の坂東淳南部総合県民局長が，海陽町や地元研究者に働きかけ，同町や徳島大学とも共催で実現したものである。

プログラムと講師：

開会挨拶：三浦 茂貴（海陽町長）

講演1「南海トラフ地震発生の時間的，空間的多様性」平田 直（東京大学名誉教授）

講演2「観測データとシミュレーションから探る南海トラフ地震の多様なシナリオ」

堀 高峰（海洋研究開発機構）：

パネルディスカッション「～分からないことを何でも聞いてみよう～」

司会：中川 和之（時事通信）

パネラー：平田 直，堀 高峰（既出）

馬場 俊孝（徳島大学），芝野 雄一（徳島県）

閉会挨拶：久田 嘉章（工学院大学，地震学会副会長）

2022 - 2023 年度日本地震学会「地震学を社会に伝える連絡会議」委員

議長	久田 嘉章	工学院大学	
副議長	室谷 智子	国立科学博物館	
委員	吾妻 崇	産業技術総合研究所	
	新井 隆太	海洋研究開発機構	
	入江 さやか	松本大学	
	内田 直希	東京大学 地震研究所	
	勝俣 啓	北海道大学	
	加納 靖之	東京大学 地震研究所	
	酒井 慎一	東京大学 地震研究所	
	篠原 雅尚	東京大学 地震研究所	
	中川 和之	時事通信社	
	松島 信一	京都大学 防災研究所	
	松原 誠	防災科学技術研究所	
	三井 雄太	静岡大学	
	山岡 耕春	名古屋大学	
		(五十音順)	

特別シンポジウム企画運営 WG

久田 (主査)、室谷、山岡、加納、酒井、入江、松原、中川、内田

モノグラフ編集委員会

内田 (主査)、久田 (編集担当)、室谷、山岡、加納、入江、中川、酒井、松原