日本地震学会モノグラフ Monograph of the Seismological Society of Japan No. 6 2020 年 3 月 第 6 号

南海トラフ地震臨時情報:科学的データや知見の活用 (モノグラフ「南海トラフ地震臨時情報:科学的データや知見の活用」編集委員会)

小泉 尚嗣・中川和之(モノグラフ編集委員会)	1
1. 招待論文	
*シンポジウム講	演順
南海トラフ地震臨時情報:地震学会特別シンポジウムの開催・・・・・久家慶子	2
地震活動モニタリングの現状と今後・・・・・・・・・・・武村俊介	6
地震活動のリアルタイム予測の現状と展望・・・・・・・・近江崇宏	10
リアルタイム・連続海域観測・・・・・・・・・・・・・田所敬一	12
『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』に学ぶ、被害軽減のための地震学の役割・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	16
臨時情報への組織対応に貢献しうる地震学からのアウトプットについて・木戸元之	20
地震学と防災の関係について――南海トラフ臨時情報の課題・・・・・飯田和樹	22
2. 投稿論文	
*執筆者名あいうえ	.お順
「南海トラフ地震臨時情報」体制への疑問・・・・・・・・・・石橋克彦	25
南海トラフ地震発生帯掘削:達成と課題・・・・・・・・・・木下正高	29
本シンポジウム開催に関しての反省点・・・・・・・・・ロバート・ゲラー	33
千島海溝南部での臨時情報の可能性を考える・・・・・・・・・高橋浩晃	35
南海トラフの地震予測に必要な海底活断層のデータ・・・・中田 高・後藤秀昭	39

39

実効性のある南海トラフ地震臨時情報のための優先事項・・・・・・林 能成	42
地震学の社会へのかかわり方の理想形:「現実論」と「根本論」の共存 ・福島 洋	46
したたかな社会と地震研究・・・・・・・・・・・・・・・ 山岡耕春	48
地震予測と防災についての雑考・・・・・・・・・・・・・吉田明夫	50
3. 資料	
2018-2019 年度日本地震学会「地震学を社会に伝える連絡会議」委員リスト・・・	52
第1回シンポジウム(2019/5/26)プログラム・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	53
第1回シンポジウム報告(『地震(ニュースレター部)』第 72 巻 NL2 号からの転載)	54
第2回シンポジウム(2019/9/15)プログラム・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	57
第2回シンポジウム報告(『地震(ニュースレター部)』第72巻 NL4 号からの転載)	59
第2回シンポジウム写真集・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	62

はじめに

日本地球惑星科学連合大会会期中の2019年5月26日(日)と、日本地震学会秋季大会前日の2019年9月15日(日)に、2回にわたる特別シンポジウムが開催されました。テーマは、「南海トラフ地震臨時情報」です。この「南海トラフ地震臨時情報」の発表の仕組みには、確度の高い地震の予測はできないものの、異常な現象が観測されれば、地震の発生の確率が相対的に高まったと評価できる場合がある、という地震学の知見が反映されています。

1回目のシンポジウム(5月)は、2018年12月25日に内閣府よりとりまとめられた「南海トラフ沿いの異常な現象への防災対応のあり方について(報告)」の内容を共有する目的で、2回目(9月)は、臨時情報の発表および社会の防災対応の一連の流れのなかで、将来的に地震学が防災・減災のために一層の貢献していくための可能性を議論するという目的で開催されました。

このモノグラフ第6号「南海トラフ地震臨時情報:科学的データや知見の活用」は、2回目のシンポジウムでの講演内容に関する招待論文と、公募に応じて投稿された一般論文が収録されています。シンポジウムでは、臨時情報の仕組みをよりよくするための議論から、臨時情報の仕組み自体、ひいては、地震学者のあり方を根源的に問い、理想を追求しようとする議論まで、幅広い議論が展開されました。このモノグラフの収録論文も、様々な立場・角度からの幅広い意見が含まれています。

南海トラフ地震臨時情報の発表の仕組みは、できたばかりです。特にこのような初期段階で、多様な意見が地震学会員から表明されるということは、望ましいことです。今後も、お互いに多様な意見に耳を傾けつつ、自由で真摯な議論が継続的に展開されることを期待したいと思います。本モノグラフが、地震学会員や、地震学に関心を寄せてくださる皆様の参考になれば幸いです。

日本地震学会モノグラフ第6号編集委員会

[編集委員会構成]

福島 洋・林 能成 (シンポジウム・コーディネーター)

久家 慶子・内出 崇彦・小泉 尚嗣・中川 和之(地震学を社会に伝える連絡会議)

(編集長:福島 洋)

南海トラフ地震臨時情報:地震学会特別シンポジウムの開催

京都大学大学院理学研究科 久家慶子

南海トラフ地震臨時情報およびそれらへの防災対応に関連して、日本地震学会は、「地震学を社会に伝える連絡会議」の企画で、2019年に2回の特別シンポジウムを開催した。本モノグラフの刊行は、これら特別シンポジウムの開催がもとになる。本稿では、その特別シンポジウム開催までの連絡会議での経緯、第2回特別シンポジウムで紹介した第1回特別シンポジウムのフォローアップを記す。加えて、2回の特別シンポジウムに参加した上で、地震学にできること・するべきこと、南海トラフ地震臨時情報の3つのケースの設定について、私見を述べる。

1. はじめに

2018 年 12 月 25 日に、内閣府から「南海トラフ沿いの異常な現象への防災対応のあり方について(報告)」および「評価基準検討部会」とりまとめが公表された(内閣府, 2018). それを受けて、日本地震学会「地震学を社会に伝える連絡会議」(以下、連絡会議と呼ぶ)で特別シンポジウムの開催を検討した結果、JpGU 会期中 5 月 26日(日)に幕張メッセで第1回特別シンポジウム「内閣府『南海トラフ沿いの異常な現象への防災対応のあり方について』報告を知る」(内出、2019)を、秋季大会前日9月15日(日)に京都大学で第2回特別シンポジウム「南海トラフ地震臨時情報:科学的データや知見の活用」(干場、2019)を開催することを決めた.

私はこれらに連絡会議議長としてかかわった.本稿では、まず、特別シンポジウム開催に至る連絡会議での経緯を2章に記す.次に、第1回特別シンポジウムでの講演(日本地震学会、2019b)や質疑応答を踏まえ、第2回特別シンポジウムで「JpGUシンポのフォローアップ」(日本地震学会、2019c)として紹介した内容を3章で述べる.私は、内閣府が報告を作成する上で行った議論や決定過程には全く関与していない.2回の特別シンポジウムに参加した上で抱いた私見を4章と5章で述べる.

2. 連絡会議での経緯

内閣府「南海トラフ沿いの異常な現象への防災 対応のあり方について」報告および「評価基準検 討部会」とりまとめが公表されたことを受けて, 2018年度第2回連絡会議(2019年2月18日)

(日本地震学会, 2019a)で、山岡耕春会長より特別シンポジウム開催の提案があった.前回の特別シンポジウムに準じた他学会との共催という提案であったが、連絡会議での議論の結果、地震学会内での理解と議論がまず先であるという結論となり、地震学会員を対象とした2回の特別シンポジウムを開催することに決めた.初回は、今回とりまとめられた報告がどのような内容なのか、何が問題であるのかについて、知ることを目的としたものである.まずは、社会に伝える側と

なる地震学会員が理解することが大切であるとの認識がもとにある. 2回目は、理学的知見に頼らないという内閣府の報告書のスタンスに対して、その枠組みの中で地震学的な知見を活用するにはどうしたらよいのかを議論することを目的とした. 報告を批判するというだけではなく、若手研究者を巻き込みながら、防災と将来の研究に向けた前向きな議論の場になればとの考えが連絡会議で話された.

2019年度第1回連絡会議(2019年4月17日)(日本地震学会,2019a)で、JpGUでの第1回特別シンポジウムの講演者案(翌日確定)とプログラムを決定、第2回特別シンポジウムの題名案や内容、プログラムについて議論した.話題提供を受けた上で実施する議論に重点をおきたいとの考えから、司会・議論進行役が重要との結論に至る.それらを担うコーディネーターをまず決めることとし、候補者を挙げて依頼を開始した.連絡会議との連携役として、私もコーディネーターに加わることとなった.

コーディネーターを福島洋(東北大)・林能成(関大)・加藤愛太郎(東大)の各氏に引き受けていただき,2019年4月22日よりコーディネーターでの議論を開始した.それまでの連絡会議で意見として挙がっていた内容を伝えた上で,第2回特別シンポジウムの内容,具体的な講演者案を相談し,講演者の依頼を開始した.第1回特別シンポジウム開催までに,第2回特別シンポジウムの全講演者が決定し,講演者には第1回特別シンポジウムへの参加を呼び掛けた.

2019 年度第 2 回連絡会議 (2019 年 7 月 25 日) (日本地震学会, 2019a) で, コーディネーター からの提案をもとに第 2 回特別シンポジウムの 名称やプログラム等を確定した.

3. JpGU シンポのフォローアップ

南海トラフ地震臨時情報は、「半割れ」、「一部割れ」、「ゆっくりすべり」の3つのケースで発表される.いずれの場合も、基本的には、地震は突発的に発生するという考えのもとで、「ふだんの生活をしながらの注意」というスタンスとなるが、南海トラフ地震臨時情報(巨大地震警戒)が発表

される「半割れ」のケースには、危険域での津波 事前避難が伴う可能性がでてくる(内閣府, 2018, 2019).

「半割れ」ケースは、南海トラフにおけるプレ ート境界の M≥8 の地震発生時に,「一部割れ」 ケースは、プレート内も含む M≥7 の地震発生時 (「半割れ」ケースを除く) にあたる. M≥6.8 の 地震が発生すると,まず,南海トラフ地震臨時情 報(調査中)が発表される. 最短で約2時間後, 「半割れ」ケースと判断された場合には、南海ト ラフ地震臨時情報(巨大地震警戒)が発表され, 危険域での津波事前避難を含む防災対応がとら れる(内閣府, 2018, 2019). その後, 地震が発 生しないと、1週間後に避難を解除して日頃の備 えを確認する等の警戒レベルを上げた防災対応 に変わり、2週間後に通常の対応になる.この間、 状況に応じて南海トラフ地震関連解説情報が随 時出される. 一方,「一部割れ」ケースと判断さ れた場合には,南海トラフ地震臨時情報(巨大地 震注意) が発表され、避難を伴わない警戒レベル を上げた防災対応がとられる. 南海トラフ地震関 連解説情報が随時出され、1週間後に通常の対応 になる. いずれのケースにも該当しなかった場合 には,南海トラフ地震臨時情報(調査終了)が出 されて終わる.

第1回特別シンポジウムでの山岡氏の講演(日本地震学会,2019b)や第2回特別シンポジウムでの「JpGUシンポのフォローアップ」(日本地震学会,2019c)の講演スライドでは、南海トラフ地震関連解説情報が南海トラフ地震臨時情報発表1週間後、2週間後に出ることが事前に決まっているように描かれていたが、本稿の準備にあたって山岡氏に確認いただいたところ、気象庁からの南海トラフ地震関連解説情報は状況に応じて随時発表されるとのことである.「JpGUシンポのフォローアップ」に際して、私の確認が不十分であったことを記してお詫びする.

南海トラフ地震臨時情報の判断は、後で覆ることはない.判断材料となったデータも公開されるだろうとのことだ.上述の「1週間後」に科学的な根拠はなく、社会が耐えられる期間と判断されたものである。安全宣言がでることはない.また、情報がでなくなることは安全宣言ではない.

「半割れ」「一部割れ」のマグニチュード基準は、ETAS モデルと世界の過去の事例をもとに決められており、モーメントマグニチュード Mwが使われている.2つのケースの判別には、発生した地震がプレート境界か否かの判断も必要になる.判別は約2時間で行われるため、2時間内に取得できるデータや解析結果が鍵になる.

3つ目のケースの「ゆっくりすべり」は、プレート境界の固着状態が変化しているような、通常とは異なるゆっくりすべりが観測されたケース

となる. まず南海トラフ地震臨時情報 (調査中) が発表され,2時間後以後に該当すると判断された場合には,南海トラフ地震臨時情報 (巨大地震注意) がでて,避難を伴わない警戒レベルを上げた防災対応がとられる. その後随時,南海トラフ地震関連解説情報が出され,現象終了後,現象継続時間と同程度の時間が経過すると,通常の対応になる.

「ゆっくりすべり」は第1回特別シンポジウムで議論の的となった. どのようなゆっくりすべりか. 余効すべりはどうなるのか. ゆっくりすべりと余効すべりをどう区別するのか. 南海トラフ地震関連解説情報は永遠に続くのか, いつやめるのか. このような多数の質問が出た.

また、最終的には3つのケースになったが、検討の途中では、地震活動、地殻変動、電磁気、地下水等の異常を含む「ケース3」が存在した。研究開発が必要という理由から「ケース3」は除かれた。

これら全体は、新たな知見がでたら見直すべき ものであろうということも、第1回特別シンポジ ウム内で説明された.

4. 地震学にできること・するべきこと(私見)

地震学ができることは、起きたことについて、できるだけ正確な情報を提供することにある. 南海トラフ地震臨時情報に関連して、地震学がするべきこととして私がもっとも重要と考えることは、①「2時間以内に、地震時とゆっくりすべりの両方の時間スケールで、すべり(あるいはモーメント解放量)の空間分布と、そのできるだけ正確な位置を決定すること」である. マグニチュードでは駄目である. ここで「2時間」は、現在の仕組みで判別のために指定された時間という意味合いだけである. 可能ならば、2時間は、より短い時間でよい.

地震の発生予測ができないのだから、過去と現状について可能な限りデータや研究成果を提供することがすべてである。個々の人々の状況判断を助けることにつながるとしたら、これらである。このことを踏まえると、②「地震学が提供できるデータや解析結果は、2時間後も刻々と流すこと」、③「臨時情報の有無にかかわらず、すべてのデータや情報は、可能な限り、リアルタイムで公開すること」も大切と考える。

南海トラフ地震臨時情報の存在のために、情報配信に制限が加わるようなことがあれば、よくない.1週間や2週間には科学的に意味がないので、これらにとらわれず、データは提供し続けるべきである. 防災対応という形で社会に判断を求めるならば、社会にデータや知識を提供することは避けられない. メディアはインパクトのあるときだけになりがちである. 社会に直接情報を提供する仕組みが大切である.

5.3つのケース設定について(私見)

南海トラフ地震臨時情報で、「半割れ」(巨大地 震警戒)と「一部割れ」(巨大地震注意)のケースを区別することには不確かさが伴う.「一部割 れ」の基準に科学的根拠はない.

地震学にとっては、起きた地震現象を正確に伝えることが本質であり、区別すること自体は本質ではない。前章の①が実現できれば、起きた現象を正確に伝えるという意図は達成されるだろう。

第2回シンポジウムで議論になったことの1つに,「半割れ」,「一部割れ」,「ゆっくりすべり」のケース設定は必要なのかという点があった.もしこれらのケース設定がなかったら,どうなるだろうか.南海トラフ周辺で常日頃と異なることが発生した場合,いずれにせよ,起こったことが気象庁から報告されることになるだろう.ある種の見解も含まれるかもしれない.それだけでよいだろうか.

私は、過去の一般向けの講演会で、「南海トラフで大地震が起きたら、その震源域が南海トラフ全域でない時には注意をしてください.数時間先か数年先かはわからないけれど、続けてもう1回、大地震が起きるかもしれません.」と話してきた.次に起こりうることに関するこの程度の知識は、事前に社会が持ち合わせていた方がよいと考えているためだ.

「半割れ」、「一部割れ」、「ゆっくりすべり」のケース設定は、今後起きうる異常報告の可能性として、社会に事前に心の準備をしておいてもらうことにつながるのではないかと私は思う。何のケース設定もなければ、実際に何かが起きるまで、社会が事前に考えることはないだろう。突然告げられる場合の混乱を避け準備をする一この意図でふるまうべきではないか。もちろん、現在のケース設定や「巨大地震警報」「巨大地震注意」の呼称などには、今後検討の余地はあるかもしれない

一方で、2回の特別シンポジウムを通して行われた意見交換で、社会がこれらのケースに対してどのような対応をとるのか、その怖さも認識した.事前の心の準備ではすまない危険がある.2回の特別シンポジウムで話された防災対応に対するとらえ方は、個々の人や立場によってずいぶんと違うものだった.

6. 終わりに

地震学会は、どこかのおかかえ機関であってはならない。学会員が多種多様な意見、提案や批判を自由に言える場を提供しなければならない。このことを常に思いながら、一連の特別シンポジウムの準備に連絡会議議長としてかかわってきたつもりであったが、振り返ると心もとない。「地震学を社会に伝える」ためには、伝える側がしっかりしないといけない。

第1回,第2回特別シンポジウムは,私にとっては,内閣府の報告を知る機会,そして関係者や参加者の方々のさまざまな意見や視点に触れ,地震学がするべきことや私たちが認識するべきその問題点を自ら考える機会になった。

結果、これは社会に伝えるというよりも、社会が判断していかなければならない問題に思える. 地震学は、それに対して、誠実にデータや研究成果を提供するだけである.「南海トラフ地震臨時情報がでたらどうしたらよいですか」の質問に、地震学は答えを持ち合わせてはいない.第1回特別シンポジウムで横田氏が話された「『理科』に答えを求めない.『社会』で頑張る」が的をえている. ただ、このことを人々が理解するには、それなりの知識や労力、時間が求められる. 今後何が起こっていくのか、私たちはみていく必要がある.

最後に、第2回特別シンポジウムのコーディネーターを引き受けてくださった福島洋氏・林能成氏・加藤愛太郎氏、特別シンポジウムに参加いただいた講演者および地震学会員の皆様、そして特別シンポジウムの準備にあたって長時間の議論に携わっていただき、当日は実働部隊として尽力いただいた連絡会議の委員の皆様に、深く感謝する.

参考文献

内出崇彦, 2019, シンポジウム「内閣府『南海トラフ沿いの異常な現象への防災対応のあり方について』報告を知る」開催報告, 地震(ニュースレター部), 72, NL2, NL-2-22-24.

内閣府, 2018,「南海トラフ沿いの異常な現象への防災対応のあり方について(報告)」および「評価基準検討部会」報告書(2018年12月25日), http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taio_wg/taio_wg_02.html

内閣府,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)」 (2019年3月29日),

http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/pdf/gaiyou_gui deline.pdf (概要)

http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/pdf/honbun_gu ideline.pdf (本文).

日本地震学会, 2019a, 学会記事:「地震学を社会に伝える連絡会議」議事録, 地震(ニュースレター部), 72, NL1, NL-1-23-24; 72, NL2, NL-2-37-38; 72, NL3, NL-3-23-24.

日本地震学会,2019b,シンポジウム「内閣府『南海トラフ沿いの異常な現象への防災対応のあり方について』報告を知る」資料,https://www.zisin.jp/member/member15.html(日本地震学会員ページ専用内)

日本地震学会,2019c,シンポジウム「南海トラフ地震臨時情報:科学的データや知見の活用」資

料, https://www.zisin.jp/member/member16.html (日本地震学会員専用ページ内) 干場充彦, 2019, シンポジウム「南海トラフ地震

臨時情報:科学的データや知見の活用」開催報告, 地震(ニュースレター部), 72, NL4, NL-4-31-33.

地震活動モニタリングの現状と今後

東京大学地震研究所 武村俊介

地震発生後,国内外の様々な観測網で記録された地震波形に基づき自動解析が実施され、地震の震源位置やメカニズム解などの情報が即時公開される。それらは、地震発生後の初期段階において、発生した地震がどのようなタイプの地震かを評価する上で重要な手がかりとなる。本稿では、防災科学技術研究所が運用する自動解析システムとIPGPの遠地実体波解析システム(SCARDEC)について、南海トラフで発生した地震の震源パラメータ推定について論じる。方位角のカバレッジの良い遠地実体波解析の方が安定的にメカニズムを推定可能であるが、断層面の広がりや小さな地震を含めたモニタリング技術の向上や即時性の観点では、国内の観測記録へ3次元構造の影響を考慮した解析を洗練化することが急務である。

1. はじめに

日本列島周辺で発生した地震や火山などを原因とする震動現象は、防災科学技術研究所の陸海統合地震津波火山観測網(MOWLAS)により記録され、防災科学技術研究所のウェブサイトよりデータが公開されている。それらのデータは、適切な解析を施すことで、発生した地震の震源物理特性、地震活動解析、地下構造モデリングなどの地球科学の基礎研究に役立てられている。地震学の基礎研究への貢献の他に、地震の震源パラメータの自動推定や緊急地震速報などのモニタリングシステムへの貢献も大きい。それらのシステムは、特に大きな地震が発生した際、地震評価や災害対応において非常に有用な情報である。

本稿では、地震の基礎情報である地震の震源の 自動パラメータ推定システムに着目する. MOWLAS の記録を活用し、防災科学技術研究所 では高精度即時震源パラメータ解析システム (AQUA; 松村他, 2006) と広帯域地震観測網 Fnet を利用した自動震源解析システム (F-net MT; 福山・他, 1998; Kubo et al., 2002) を運用してい る. AQUA は Hi-net の高感度地震計のデータに より震源決定(AQUA-REAL/HYPO), F-net の広 帯域地震計あるいは速度型強震計を用い、この震 央に固定したモーメントテンソル解析(AQUA-MT), セントロイド位置も推定するモーメントテ ンソル解析(AOUA-CMT)と順次解析が進む、Fnet MT は、F-net 広帯域地震計を用い、気象庁の 推定した震央に固定し、深さを様々に変えてモー メントテンソル解析を実施する. AQUA-CMT と F-net MT の違いは使用観測点数と震央位置の取 り扱いであるが、地震発生後10分程度で自動解 析が終了し, 防災科学技術研究所のウェブサイト に解析結果が掲載される.

地震発生から 30 分以上経過すると、世界中の 地震計でも解析に十分な地震波計が得られる. ア メリカ地質調査所をはじめとする様々な機関か ら解析結果が公表される. Global CMT や W-phase による CMT 解析が代表的であるが、ここでは SCARDEC (Vallée et al., 2011) に注目する. SCARDEC は、震源の位置、メカニズム解と規模に加えて、震源時間関数も詳細に推定される。また、2016 年 6 月以降は Twitter アカウント (@geoscope_ipgp) も運用されており、地震後 50 分程度で解析結果が Tweet され、Twitter を利用する地震学者の間で議論が広がる。

巨大地震の発生が懸念される南海トラフで、観測網の手薄な海域で大きな地震が発生した場合、直ちに地震の情報を得る必要があるが、それらの自動解析結果はどの程度信頼できるのだろうか. 以下、南海トラフ沿いで発生した2016年4月1日 三重県南東沖の地震(MJMA 6.5)、2019年5月10日 日向灘の地震(MJMA 6.3)を具体例として紹介する.

2. 地震活動モニタリングの現状

2016 年 4 月 1 日に発生した三重県南東沖の地震 (M_{JMA} 6.5) と 2019 年 5 月 10 日に発生した日向灘の地震 (M_{JMA} 6.3) の自動解析の結果について,図 1 にまとめる. 詳細は以下のとおりである.

2016 年 4 月 1 日に三重県南東沖を震源として 発生した地震は、走時、地震動、地殻変動および 津波に関する様々な解析が行われ、*Mw* 6 程度の 低角逆断層モデルで観測記録が説明されること から、プレート境界型の地震と考えられている (例えば、Kubota et al., 2018; Takemura et al., 2016, 2018; Wallace et al., 2016).

国内の観測システムによる AQUA および F-net MT の自動解はいずれも傾斜角 40°程度と、プレート境界の傾斜角と比べると高角な逆断層となっており、これらによりプレート境界型の地震と判断することはできない. 傾斜角の誤推定は、(1)震源域周辺に付加体や海洋スラブがあるために陸域の 1 次元構造と大きく異なる構造をしており、(2) 観測網が北西から北東の偏った範囲のみである、という 2 つが原因と考えられる. 震源域直上に敷設された DONET を利用することで誤推定を回避することが可能と考えられるが,付加体の影響で地震動が大きくなり広帯域地震計は飽和、強震計も非線形応答の影響を受け、詳細

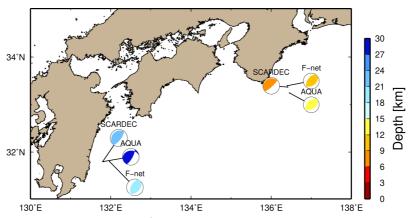


図 1. 2016 年 4 月 1 日に発生した三重県南東沖の地震と 2019 年 5 月 10 日に発生した日向灘の地震の自動解析の結果の比較、震源球の色は深さを示す。

な震源の解析が困難な場合もあるので注意が必要である.

一方、SCARDECは、プレート境界よりやや浅く、Mw も 0.2 程度大きいが、プレート境界の断層運動を示唆する低角逆断層が最適解とされており、Global CMTや W-phase などの他の遠地波形解析結果とも整合的である。また、前述したように詳細な解析からもプレート境界での低角逆断層と考えられており、時間はかかるものの遠地実体波解析の方が良い解と言える。

2016 年 4 月 1 日の三重県南東沖の地震のマグニチュードについてコメントしておくと、モーメントマグニチュードは国内の観測記録の解析では 5.6~6、SCARDEC では 6.2 と気象庁マグニチュード (6.5) より小さく推定された. これは、低角に沈み込むフィリピン海プレートの海洋モホと地表の間で地震動が多重反射し、Lg 波や表面波が大きく発達したことで気象庁マグニチュードが過大評価となったと考えられる(Furumura and Singh, 2002).

続いて、2019年5月10日に発生した日向灘の 地震には、F-net MT のみ高角な逆断層となった が、AQUA-CMT および SCARDEC では低角逆断 層成分の大きな解となった。Mw が 0.2 大きいも のの、SCARDEC がメカニズム解と深さ共に既存 のプレート構造モデルから想定されるプレート 境界の逆断層運動に最も近い解である。

3. 地震活動モニタリングの今後 通常の地震

近年,南海トラフで発生した2つの中規模地震を例に,現状の地震モニタリングシステムの性能を議論した.方位角が限られる国内の陸域観測網+1次元構造解析では,特に東南海や南海など震源域直上に付加体が存在する場合,傾斜角の推定に難があり,プレート境界型地震かスラブ内地震かを即時に判断するのは難しい.一方で,時間はかかるものの遠地実体波解析では,方位角のカバ

レッジも良く,メカニズム解の拘束には有用であることがわかった.

SCARDEC を含む遠地の解析結果を取り入れ 発生した地震の評価を行うことは重要であるが, 詳細な位置関係や破壊域の広がりを評価する上 で, 近地の地震波形の解析も進めなければならな い. 大型計算機と並列計算技術の向上により, 3 次元不均質構造を含んだ地震動シミュレーショ ンは、特別なものではなくなってきた. 3次元不 均質構造を考慮することで、メカニズム解および 深さの拘束がよくなるといった報告が多数ある (例えば, Okamoto et al., 2018; Takemura et al., 2019a). また, CMT 解析に必要な Green 関数の 計算も,相反定理モードを含んだ使いやすい並列 差分法コード OpenSWPC (Maeda et al., 2017) が 公開されており,並列計算のエキスパートでなく ても 3 次元構造を仮定した Green 関数を計算す ることが可能である.以下, OpenSWPC を利用し、 3次元構造を仮定した Green 関数を生成し、前述 した2つの地震の3次元 CMT 解析を試みる.

3 次元地下構造モデルは全国 1 次地下構造モデル(Koketsu et al. 2012)を利用し、最小 S 波速度を 1.5 km/s とした. CMT 解析の手法は、Takemura et al. (2019a)と同様である. 継続時間 1 秒の cos 関数型パルスで Green 関数を合成し、破壊継続時間の評価は行っていない. 周期 25-100 秒の変位波形を用いて CMT 解析を行い、観測波形との間の Variance Reduction(VR)が最も高い解を最適解とした.

図2に2016年4月1日に発生した三重県南東沖の地震の解析例を示す. 3次元構造を仮定したCMT解析では、低角逆断層と推定された.最適解の震央位置で深さ方向のVRの変化(図2右側)を見ると、プレート境界付近に明瞭なピーク構造を持ち、このことからプレート境界で発生した低角逆断層の地震であることが示唆される.付加体が厚く堆積した東南海周辺では、付加体が表面波の伝播を支配しているため、3次元構造を仮

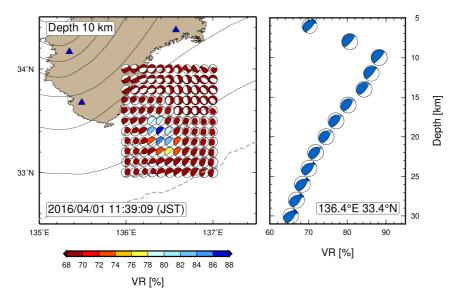


図 2.2016 年 4 月 1 日に発生した三重県南東沖の地震の CMT 解析の結果. 地図中の色は VR の大きさを示し、地図中には最適深さ 10 km の VR の水平方向の変化、右側は最適解の震央位置における VR の深さ変化を示す. 地図中灰色線は Koketsu et al. (2012)のフィリピン海プレートの 10 km 毎の等深線、左下の日時は最適解の震源時刻である.

定することでメカニズム解と深さの推定精度が 大きく改善する. 日向灘の地震についても同様の 結果を得ており, 3 次元構造を考慮した解析の有 用性が示された.

このような3次元構造を考慮した CMT 解析は, 台湾ですでにリアルタイム化(Lee et al., 2014; http://rmt.earth.sinica.edu.tw/)が進んでおり,日本 での実用化も期待される.

ゆっくりすべり

地震計の記録からゆっくりすべり(スロースリップ)を直接観測することは難しい.一方で,スロースリップは,他のスロー地震と同期して発生することが知られている(例えば,Obara and Kato, 2016). 巨大地震発生域の深部延長で発生する深部スロー地震(深部低周波微動,深部低周波地震,深部超低周波地震,深部スロースリップ)については,陸域の観測網で精度良く推定されている.一方で,浅部スロー地震については,陸域から遠い海溝軸付近で発生するため,陸域の観測網では浅部超低周波地震以外の検知は難しい.ここでは浅部超低周波地震について論じる.

詳細は Takemura et al. (2019b)に示されているので省くが、F-net の広帯域地震計の連続記録に、Takemura et al. (2019a)で3次元構造を用いた CMT解析により高精度に推定された浅部超低周波地震をテンプレートとして用いた相互相関解析を行った. 相互相関解析により、より小さな浅部超低周波地震を検知、震央再決定を行い、3次元構造を考慮して拘束した CMT解があれば、通常のテンプレート解析でも高い精度で震央の再決定が可能となることを示した.

テンプレート解析であれば、使用するテンプレートの数、観測点数と仮定する仮想震源格子の数に依存するが、1日分の連続データを解析するのに 1~2 時間程度で終了する. 典型的な Episodic Tremor and Slip では微動や超低周波地震が 10 km/day 程度で移動することが知られている(例えば、Obara and Kato、2016). このようなスロースリップの日毎の破壊域の進展は、他のスロー地震のモニタリングによって把握でき、その活動域の広がりからスロースリップの断層面積も拘束することが可能と考えられる(Takemura et al.、2019b).

4. まとめ

シンポジウム「南海トラフ地震臨時情報:科学的データや知見の活用」に関連して、現状の1次元構造による地震活動モニタリングの実情と問題点を論じた。海域の地震の震源について、陸域観測網+1次元解析では、海域の不均質構造や方位角のカバレッジの問題で決定精度が落ちる。その影響は、震源域直上に付加体が発達した東南海や南海で顕著に現れる。時間はかかるものの、方位角のカバレッジの良い遠地実体波解析では、メカニズム解が安定的に推定される。

断層面積の拘束や規模の小さなイベントの把握には、国内の観測記録を利用する必要がある. 3 次元構造モデルを仮定し、Green 関数を用意すれば、精度良くメカニズム解と深さを拘束できることを示した。また、一度 3 次元構造を考慮して精緻に推定した地震をテンプレート波形とすることで、通常の 1 次元解析の精度も向上することを指摘した.

3 次元構造を考慮した地震活動モニタリングは、南海トラフ臨時情報あるいは CMT 解析を基とした津波予測システム (例えば、Inazu et a., 2016) などの応用だけでなく、地震学そのものへの波及効果も大きい、プレート境界の応力蓄積の絶対値を知ることはできないが、GNSS あるいは GNSS-A 記録の時間変化、あるいは近隣で発生した地震による擾乱を評価することは可能である. 解析技術を向上させ、海域で発生する様々な地震の正確な震源パラメータ推定を目指すことで、プレート境界の応力状態や震源物理特性の理解が深化し、巨大地震の性質解明のヒントを得られると期待される.

謝辞

シンポジウムでの講演および本稿を執筆するにあたり、防災科学技術研究所 汐見勝彦研究員、木村尚紀研究員および木村武志研究員からAQUAおよびF-net MT に関して情報を提供していただきました. 広帯域地震観測網F-net の観測記録(https://doi.org/10.17598/NIED.0005)を利用しました. 地震動シミュレーションには、東京大学地震研究所 地震火山情報センターの計算機システムを利用しました. シンポジウムの企画・運営に携わったご皆様、ご参加いただいた皆様にこの場を借りて御礼申し上げます.

参考文献

- 福山英一・石田瑞穂・Douglas S. Dreger・川井啓 廉, 1998, オンライン広帯域地震データ用い た完全自動メカニズム決定, 地震 2, 51, 149-156.
- Furumura, T., and Singh, S.K., 2002, Regional wave propagation from Mexican subduction zone earthquakes: the attenuation function for interpolate and inslab events, Bulletin of the Seismological Society of America, 92, 2110-2125.
- Inazu, D., Pulido, N., Fukuyama, E., Saito, T., Senda, J., and Kumagai, H., 2016, Near-field tsunami forecast system based on near real-time seismic moment tensor estimation in the regions of Indonesia, the Philippines, and Chile, Earth, Planets and Space, 68:73.
- Kubo, A., Fukuyama, E., Kawai, H., and Nomura, K., 2002, NIED seismic moment tensor catalogue for regional earthquakes around Japan: quality test and application, Tectonophysics, 356, 23-48.
- Kubota, T., Suzuki, W., Nakamura, T., Chikasada, N., Aoi, S., Takahashi, N., and Hino, R., 2018, Tsunami source inversion using time-derivative waveform of offshore pressure records to reduce effects of no-tsunami components, Geophysical Journal International, 215, 1200-1214.
- Lee, S.J., Liu, Q., Tromp, J., Komatitsch, D., Liang, W.T., & Huang, B.S., Toward real-time regional earthquake simulation II: Real-time Online earthquake Simulation (ROS) of Taiwan

- earthquakes, Journal of Asian Earth Science, 87, 56-68.
- Maeda, T., Takemura, S., and Furumura, T., 2017, OpenSWPC: an open-source integrated parallel simulation code for modeling seismic wave propagation in 3D heterogeneous viscoelastic media, Earth, Planets and Space, 69:102.
- 松村稔・伊藤喜宏・木村尚成・小原一成・関口渉 次・堀貞喜・笠原敬司,高精度即時震源パラメ ータ解析システム (AQUA) の開発,地震 2, 59,167-184
- Obara, K., and Kato, A., 2016, Connecting slow earthquakes to huge earthquakes, Science, 353, 253-257.
- Okamoto, T., Takenaka, H., and Nakamura, T., 2018, Evaluation of accuracy of synthetic waveforms for subduction-zone earthquakes by a land-ocean unified 3D structure, Earth, Planets and Space, 70:98.
- Takemura, S., Shiomi, K., Kimura, T., and Saito, T., 2016, Systematic difference between first-motion and waveform-inversion solutions for shallow offshore earthquakes due to a low-angle dipping slab, Earth, Planets and Space, 68:149.
- Takemura, S., Kimura, T., Saito, T., Kubo, H., and Shiomi, K., 2018, Moment tensor inversion of the 2016 southeast offshore Mie earthquake in the Tonankai region using a three-dimensional velocity structure model: effects of the accretionary prism and subducting oceanic plate, Earth, Planets and Space, 70:50.
- Takemura, S., Matsuzawa, T., Noda, A., Tonegawa, T., Asano, Y., Kimura, T., and Shiomi, K., 2019a, Structural characteristics of the Nankai Trough shallow plate boundary inferred from shallow very low frequency earthquakes, Geophysical Research Letters, 46, 4192-4201.
- Takemura, S., Noda, A., Kubota, T., Asano, Y., Matsuzawa, T., and Shiomi, K., 2019b, Migrations and clusters of shallow very low frequency earthquakes in the regions surrounding shear stress accumulation peaks along the Nankai Trough, Geophysical Research Letters, accepted, doi: 10.1029/2019GL084666.
- Vallée, M., Charléty, J., Ferreira, A.M.G., Delouis, B., and Vergoz, J., 2011, SCARDEC: a new technique for the rapid determination of seismic moment magnitude, focal mechanism, and source time functions for large earthquakes using body-wave deconvolution, Geophysical Journal International, 184, 338-358.
- Wallace, L.M., Araki, E., Saffer, D.M., et al., 2016, Near-field observations of an offshore Mw 6.0 earthquake from an integrated seafloor and subseafloor monitoring network at the Nankai Trough, southwest Japan, Journal of Geophysical Research, 121, 8338-8351.

地震活動のリアルタイム予測の現状と展望

東京大学生産技術研究所 近江崇宏

内閣府が2018年に「南海トラフ沿いの異常な現象への防災対応のあり方(報告)」を公表した.本論 文は地震活動の即時分析・予測についての現状や課題について説明し,気象庁の南海トラフ地震関連 情報や防災対応に対して寄与する可能性について論じる.

1. はじめに

平成30年に内閣府が「南海トラフ沿いの異常 な現象への防災対応のあり方について(報告) を公表した. この報告書は、現在の科学的知見を 防災対応に活かすという観点から、大地震の発 生の可能性が高まったと判断されるような異常 現象が南海トラフ沿いで発生した場合の気象庁 が発表する南海トラフ地震関連情報や防災対応 のあり方について取りまとめたものである. こ の中で、異常な現象の具体的な例として、南海ト ラフにおいて M8.0 以上の地震が起きた場合(半 割れケース), M7.0以上 M8.0未満の地震が起き た場合(一部割れケース)などが挙げられている. 報告書にはそれらに加えて、通常とは異なるゆ っくりすべりが発生した場合(ゆっくりすべりケ ース)も挙げられているが、ここでは半割れケー スと一部割れケースのみについて扱う. 上に挙 げたような異常現象が観測された場合には、気 象庁は観測された異常な現象についての調査を 行い, それが南海トラフでの大規模な地震に関 連するかについての発表を行う. そして、 半割 れケースでは地震発生後の2週間,一部割れケー スでは地震発生後の 1 週間において防災対応が 行われる.

このように、南海トラフ沿いで大きな地震が起きた時に、即時に様々な調査や対応がなされるわけであるが、本論文では特に地震活動の分析・予測に焦点を絞る. そして、現状、地震活動に関してどの程度の解析が可能なのかということや、どのような情報を提供することができるかということについて論じる.

2. 地震活動の即時分析・予測

大地震がいつ、どこで起こるかを高い確度で予測しようとする地震予知に対して、地震活動予測は(場所、時間、マグニチュード)の空間上に将来の地震がどのように分布するかを確率的に予測するものである。ここ 10 年ほどで、Collaboratory for the Study of Earthquake Predictability (CSEP)などの国際プロジェクトを通して、地震活動予測についての実証論的研究がアクティブに行われ、どのようなモデルを用いれば良いか、どのように予測を評価すれば良いかという問題に対して、一定の進展を見た[1].

地震活動予測の研究では、主に大きな地震後

の地震活動,いわゆる余震活動の予測を通して 予測モデルの検証が行われることが多い.ただ し,ここでは余震は最初の大きな地震よりも規 模が小さいという想定はおかれず,より大きな 地震が起こる可能性も考慮されている.また,上 記の報告書では,南海トラフ沿いで大きな地震 が起きた時点から対応が開始されることが規定 されており,その後の地震(余震)活動を分析す ることは詳細な状況を把握するための有用な一 手段になり得ると考えられる.そこで,以下では 余震活動をリアルタイムに解析・予測する上での 現状や課題について述べていく.

余震活動のモデリング・確率予測を行う方法に ついては、改良大森則と Gutenberg-Richter 則を用 いる方法が古くから提案されていた[2]. しかし ながら余震活動の予測をリアルタイムに精度よ く行えるようになったのはごく最近になってか らである. これまでリアルタイムに予測を行う ことが難しかった理由としては、(i)大きな地震後 には観測網の地震検知能力を超える数の地震が 起こるため、多くの地震が観測から抜け落ちて しまうため, 不完全な観測データに基づき予測 を行わなければならない, (ii)通常地震活動の研 究に用いられる震源カタログは人の手により長 い時間をかけて作成された質の高いものである が、リアルタイムに得られる観測データはコン ピュータの自動処理により決定されたものであ り、人の手により作成されたカタログに比べる と信頼性が低い、という 2 つの要因が考えられ

著者らはこれらの課題を解決し、リアルタイムに余震活動の確率予測を行うための研究を行ってきた。まず、余震の多くが観測からもれてしまうという問題に対しては、どの程度の割でしまうという問題に対しては、どの程度の割が観測からもれてしまったかを観測デーを観測がられてしまったかを観測デーをで、最初の当時間程度の段階でも、偏りのない予測が高いとを示した[3].特に、南海になることを示した[3].特に、南海になることを示した[3].特に、南海になることを示した[3].特に、南海になることを示した[3].特に、南海によりになることを示した[3].特に、南海によりになることを示した[3].特に、南海によりになることを示した[3].特に、西海にない、近年のカンピュータの性のは、近年のカンピュータの性のは、近年のカンピュータの性を表し、近年のカンピュータの性

能の向上により、リアルタイムの観測データの質も向上してきた. そこで我々は、自動処理によって決定されたデータを用いて信頼性のある予測を行えるのかということを検証するために、防災科学技術研究所の Hi-net 自動処理震源カタログを用いて、過去の内陸の M7 クラスの地震の余震活動の予測実験を行なった[4]. その結果、M4.0 以上の比較的強い余震活動の予測では、(人によって決定された)気象庁の一元化震源カタログを用いた場合と同等の予測性能があることが明らかになった. そのため、リアルタイムに得られる震源カタログからでも、ある一定の予測が可能であることが明らかになった.

これらの結果をもとに、Hi-net 自動処理震源カタログを用いて、リアルタイムに余震活動の予測を自動で行うためのシステムの開発を行い、防災科学技術研究所で 2017 年 4 月より試験運用を行なっている[5]. このシステムでは M≥5.0 以上の地震が起きると、その周辺の地震活動をモニタリングを開始し、1時間おきにその後の1、3、7 日間の余震の発生確率を予測するものである.このシステムで得られた分析・予測結果は、2018年大阪北部、2018年北海道胆振地方、2019年山形沖の地震が発生した際に、直後に行われた地震調査委員会へ報告を行った.

このように,近年リアルタイムに余震活動を 初期の段階から分析し,その後の活動を予測す ることが可能になってきている.

次に、今後の課題について述べる. まず予測モ デルについてであるが, 妥当な予測を行うため には、より適切な予測モデルを用いる必要があ る. 我々の研究では余震活動の統計モデルを用 いており、それが前震活動のようなその後にさ らに大きな地震が引きつづくような地震活動も 適切に表現できるのかという問題がある. 前震 活動の予測に特化したようなモデルもあり[6,7], そのようなモデルを相補的に用いる可能性が考 えられる. また、現状では地震活動の統計的な経 験則に基づくモデルを用いているが、地震の物 理に関する研究が進めば、それらを取り入れて モデルを改良していく必要があるであろう. 次 に観測データについてであるが、より正確な予 測を行うためには、より良いデータが欠かせな い. 自動処理により得られるカタログの質は、内 陸の地震に関しては実用に耐えるレベルになっ ているが、海域の地震に関しては、 さらなる質の 向上が必要であり、そのため海域の観測網の拡 充が必須であると考えられる.

3. 南海トラフ地震臨時情報への貢献

このような地震活動の即時分析・予測を通して 南海トラフ地震臨時情報のために提供できる情報について述べる. 臨時情報は最初の大きな地 震から数時間程度で発表されるが, 前章で述べ たように、近年このような初期の余震活動データのリアルタイム分析が可能になってきている。そのため、地震活動の統計的な特徴量(活動度やb-値など)やその後の数時間から 1 日程度の地震活動の予測の結果をその時点で提供することができると考えられる。また、現状ではあらかじめ防災対応ととる期間が決められているが、活動度がある一定の値まで下がるまで防災対応を行うというような何らかの基準を設けることができる所能性があり、これをより客観的決めることができる所能性があり、このような点においても地震の活動度の分析・予測の情報は有用であると考えられる。

4. 結論

本論文では、南海トラフで大きな地震が起きたことを想定し、その後の地震活動を分析・予測する上での現状・課題について論じた。これまで述べてきたように、近年リアルタイムに大きな地震の後の地震活動を分析・予測することが可能になってきおり、それを有効に活用することが望まれる。現時点では、最初に起こった大きな地震のマグニチュードにより、その後の対応が決まるようなやり方をとっているが、科学的知見を防災に生かすという観点からは、将来的には地震活動を含めた各種観測データの分析に基づき、その後の対応を決めるような方式に拡張していくことが望ましいと考えられる。

参考文献

- [1] J. D. Zechar et al., "The Collaboratory for the Study of Earthquake Predictability perspective on computational earthquake science", Concurrency and Computation: Practice and Experience 22, 1836 (2010).
- [2] P. A. Reasenberg and L. M. Jones, "Earthquake hazard after a mainshock in California", Science **243**, 1173 (1989).
- [3] T. Omi et al., "Forecasting large aftershocks within one day after the main shock", Scientific Reports 3, 2218 (2013).
- [4] T. Omi et al., "Automatic aftershock forecasting: A test using real-time seismicity data in Japan", Bulletin of the Seismological Society of America **106**, 2450 (2016).
- [5] T. Omi et al., "Implementation of a real-time system for automatic aftershock forecasting in Japan", Seismological Research Letters **90**, 242 (2018).
- [6] Y. Ogata and K. Katsura, "Statistical discrimination of foreshocks from other earthquake clusters", Geophysical Journal International **127**, 17 (1996).
- [7] L. Gulia and S. Wiemer, "Real-time discrimination of earthquake foreshocks and aftershocks", Nature **574**, 193 (2019).

リアルタイム・連続海域観測

名古屋大学大学院環境学研究科 田所敬一

南海トラフ域に展開されている海域の基盤・準基盤観測網等で取得されたデータは、プレート間固着 状態の空間分布や海域で発生した地震の実体の解明、さらには浅部スロースリップの検出など、様々 な研究に役立てられている。これらの観測(網)は南海トラフ地震臨時情報に基づく防災対応のあら ゆるケース、全ての段階において貢献が期待されるが、そのためには、最新の観測データをいつでも、 すぐに、そして誰でも見ることができる体制、すなわち連続・リアルタイム観測の実現が不可欠であ る。本稿では、海域の基盤・準基盤観測網等による連続・リアルタイム観測の実力と現状、さらに展 望についてまとめる。

1. 海底諸観測の「南海トラフ地震臨時情報」へ の貢献

南海トラフ沿いで発生した現象が異常かどうかの調査を行う、あるいは調査結果を公表するにあたり、「南海トラフ地震臨時情報」が発表されることになった。これに基づく防災対応のあらゆるケース(半割れ・一部割れ・ゆっくりすべり)に対し、全ての段階(防災対応期間突入時・期間中・終了時、さらにその後)において、海域諸観測の貢献が期待される。

「半割れ」(巨大地震警戒) と「一部割れ」(巨 大地震注意)のケースでは,防災対応実施期間(以 下「対応期間」という)突入時には,その決定の 判断材料となる現象の規模 (空間スケール)等の 情報を提供する役目を担うことになろう. 一部割 れのケースでは、調査対象となった破壊の規模が Mw7.0以上であったことの判断には,海域諸観測 の結果が重要な役割を担うことになる. 半割れと 一部割れのケースでは、対応期間は自動的に1週 間を基本とすることとなっている.しかしながら、 その期間中に何の情報も出さないというわけに はいかない. 対応期間突入後の状況の推移等につ いて「南海トラフ地震関連解説情報」として発表 する必要があるばかりではなく,特にまだ被害を 受けていない地域等(社会)からの要請で、現状 に対する観測に基づいた理学的解釈が逐次求め られることは想像に難くない.

「ゆっくりすべり」のケースでは、防災対応期間突入にあたり、「プレート間の固着状態が明らかに変化したか」を判断する必要がある。そのため、ゆっくりすべりが特にトラフ軸の近くで発生した場合は、海域での観測結果が決定的に重要となる。同ケースでは、防災対応の期間は「すべりが変化していた期間と概ね同程度」とされているため、海域諸観測データを中心に、すべりの有無といった状況把握を行い、対応期間の終了を決めることになろう。また、ゆっくりすべりが収まったと判断された後も、その後の状況を注視する必要がある。このことは、「半割れ」と「一部割れ」のケースでも同じである。

異常な現象についての調査は、概ね30分後には 開始され、約2時間後には判断結果が発表される. よって、最新の観測データをいつでも、すぐに、 そして誰でも見ることができる必要がある.また, 異常であるとの判断を下すには, 平時において正 常な状態を知っておかなくてはならない. このと き、状態の「平均値」だけではなく、観測・推定 精度や手法に起因する観測の限界も加味した上 でその「ゆらぎ」も知っておく必要があることに 注意しなければならない. そうすると, リアルタ イムでの連続観測(モニタリング)が不可欠との 結論に至るのは必定である. モニタリングとは連 続観測に基づいた常時監視であるが、それだけで は不充分であり、リアルタイム性も要求される. 南海トラフの地震に向けてこれからプレート境 界の状態がどんどん変わってゆく中,特に正常な 状態の把握のためのデータ蓄積に時間がかかる 測地観測においては、南海トラフ全域を密にカバ ーするリアルタイム・連続観測の早期実現が望ま れる.

2. 南海トラフにおける基盤・準基盤海底観測網の現状と現象検知の実力

地震調査研究推進本部において,ケーブル式に よる海底地震・津波観測は基盤的観測として, GNSS/音響方式の海底地殼変動観測は準基盤的 調査観測としてそれぞれ位置づけられている.海 底ケーブル観測網は,気象庁のケーブル式常時海 底地震観測システム,および防災科学技術研究所 の地震・津波観測監視システム (DONET1, DONET2) が既に運用されている(図1左). 観 測網の空白域となっている土佐湾から西の海域 には、新たにケーブル式の「南海トラフ海底地震 津波観測網」(N-net)の構築が始まっており、南 海トラフ全域をカバーする海底地震・津波観測網 は完成間近である.一方, GNSS/音響方式の海底 地殼変動観測網は、海上保安庁と大学との協力の 下, 南海トラフ域全域に観測網が展開されている (図1右). 海上保安庁では、観測点密度が不足 しているトラフ軸近傍を中心に観測網の拡充が 開始されている.

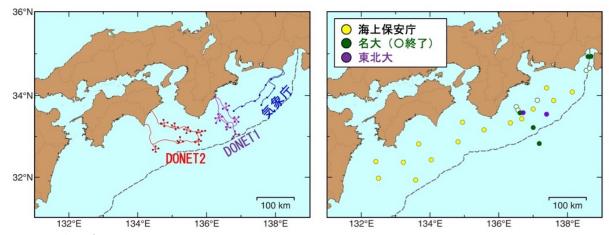


図1 現在の南海トラフ域における(左)ケーブル式海底地震・津波観測網,および(右)GNSS/音響方式による海底地殻変動観測網(平成31年4月現在).地震調査研究推進本部のまとめによる資料「地震観測施設一覧」をもとに作成.

海底ケーブル式の観測では、すでにリアルタイム・連続観測が実現されており、データの流通や公開も行われている。一部では自治体や民間企業でのデータの活用による社会実装も進んでいる。一方、海底地殻変動観測では、データ公開の試みが始まっている [Yokota et al., 2018] ものの、リアルタイム・連続観測については後述の通り未だ技術開発の途上であり、ケーブル式の観測に比べて遅れをとっている。

DONET1に装備されている地震計では、2016年4月1日に発生した三重県南東沖の地震(Mw5.8)の地震がプレート境界で発生したことが明らかになった。また、この地震では、DONET1に装備または接続されている水圧計によって1~2cm程度の上下変動も検出された[Wallace et al., 2016].このように比較的小規模な地震であっても、その実体解明に役立つデータがケーブル式海底観測網で得られることが実証され、臨時情報への貢献でもケーブル式海底観測網が大きな戦力となることは間違いない.

GNSS/音響方式による海底地殼変動観測では、 実海域観測が開始された直後の2004年9月4日に 発生した紀伊半島南東沖の地震(Mw7.3, 7.5)に よる20~30cm程度の水平変位が観測された [Kido et al., 2006; Tadokoro et al., 2006]. M8級 以上の地震による1mを超える変位は本方式で容 易に観測することができるが、M7級の地震によ る数十cm規模の変位が観測できるようになった のは技術開発の成果によるところが大きい. しか し、2009年8月11日に駿河湾内で発生したMw6.3 の地震では、少なく見積もっても2cm程度の水平 変位が認められたものの[名古屋大学環境学研究 科, 2010], M6程度の地震による数cm規模の変位 を明確に捉えるためにはさらなる高精度化が必 要である. また、プレート境界地震が観測点直下 で発生した場合、その規模がMw6.8であったか一

部割れの閾値に相当するMw7.0であったかの区別は、現状の実力(水平変位の検出能力)でも可能である.しかし、地震時の変位は断層の外側では急激に小さくなるため、現在よりも狭い(理想は対象とする地震の断層長さ以下の)間隔で観測点を設置することが望ましい.

海底観測による最近の顕著な成果として特筆すべきは、浅部スロースリップの検出である. DONET1に接続されている孔内水圧計では、数日〜数週間にわたる浅部スロースリップが観測された [Araki et al., 2017]. 水圧計で長期の地殻変動を捉えるには、海洋変動の補正と水圧センサのドリフト問題の解決が不可欠である. センサドリフトについては、小型水圧計での現場較正 [Chadwick et al., 2006] や室内での加圧試験による挙動の解明が進められている. 海上保安庁による海底地殻変動観測では、紀伊水道沖のトラフ軸近傍でのスロースリップ (Mw6.6程度) が観測された. これには観測時間の短縮のための技術開発によって高頻度観測が実現したことが大きく寄与している.

3. 海底地殻変動の連続観測に向けて

近年,国土地理院のGEONETの観測結果のみならず,2005年前後から継続されてきたGNSS/音響方式による海底地殻変動観測の結果を加えることにより,プレート間固着状態の空間分布の詳細が明らかになってきた [Yokota et al.,2016; Nishimura et al.,2018; Kimura et al.,2019]. これらは津波想定等の高度化 [例えばWatanabe et al.,2018] に活用されるべき重要な成果ではあるが,現段階では長期間の平均的な固着状態を見ているに過ぎない. Ochi [2015] は, GEONETの観測データをもとに、14年間にわたるプレート間固着状態のゆらぎを報告している.東北地方太平洋沖地震 [Ito et al.,2013] や2014年にチリ沖で発生

したイキケ地震 (Mw8.2) [Ruiz et al., 2014] の前 には、プレート間固着の剥がれとも言うべきイベ ントが発生していたことが報告されている.この ような平均的な固着状態を乱す「ゆらぎ」を海底 地殻変動観測で捉えるためには,時間分解能の向 上, すなわち連続観測の実現が不可欠である. 時 間分解能の向上は, 測位誤差と非定常的変動の分 離のみならず, 地震時変動と余効変動の分離, さ らには定常的地殻変動の推定精度の担保のため にも必須である. 海上保安庁では高頻度観測が実 現しているが、それでも今のところ1観測点あた りの観測回数は年に6~8回程度が限度であり,現 行の船舶を用いた有人での観測スタイルが連続 観測実現のネックとなっている. したがって, 船 舶に依存せず新たな海上プラットフォームを用 いた無人での観測方式を開発しなければならな

海底地殻変動の連続観測に利用できる海上プ ラットフォームとしては,自律航行できる無人艇 とブイが挙げられ, それぞれ移動観測と定点観測 に活用することができる. 無人艇の運用について は, 平成31/令和元年になって法整備等が進んだ. 無人艇は「船舶安全法」の改正によって特殊船と して明確に位置づけられるとともに,「船舶職員 及び小型船舶操縦者法」の改正によって無人での 運航が可能となった.また、国土交通省から「遠 隔操縦小型船舶に関する安全ガイドライン」が公 表された. これらの法整備等によって, 我が国で 無人艇を運用するにあたっての法的な障壁は一 切なくなった. 米国やシンガポールでは, 無人艇 の海底地殻変動観測への導入が始まっており,我 が国はすでに周回遅れの状況であると言わざる を得ない. ブイを用いた観測については, 我が国 でも開発や試験的観測が始まっている [Kido et al., 2015, 2018; Kato et al., 2018] (図2). ブイを 用いてリアルタイムでの連続観測を行うにあた っての要素技術, 例えばブイ上での音響データの 自動処理, 地上からの遠隔操作による観測頻度の 変更を行うオンデマンド観測の技術などは着々 と開発が進んでいる.しかしながら、未だシステ ム全体としての実用化には至っていない. さらに, リアルタイム観測を行うためには、海域と陸との 安定的な通信手段の確保が必須である. 現在は商 用の衛星通信を利用しているが、今後はIoT時代 を見据えて開発されようとしている通信衛星の 活用なども視野に入れる必要がある.

4. おわりに

本稿では、南海トラフ域の海域で行われている 基盤・準基盤観測の実力と、特に海底地殻変動の 連続・リアルタイム観測の必要性について述べて きた.連続・リアルタイム観測が実現した後は、 肝心なイベントが発生した際に観測網が役立て られるよう、基地局(サーバ)、通信、電源の安



図2 著者らがリアルタイム海底地殻変動連続 観測システムの開発に用いている係留ブイ

定的な運用と運用体制の整備による持続可能性の担保を視野に入れておかなければならない.

最後に、南海トラフ地震臨時情報をはじめとす る国の実践的防災に実観測が貢献するためには, 次の3つの協調が重要であることを述べておきた い. まず一つ目は、地震と測地、測地の中でも上 下変動、水平変動、傾斜、ひずみなど、観測項目 間の協調である. 水圧計は上下変動の観測に対し て圧倒的に優れたポテンシャルを有しており,海 底地殻変動観測は水平変動の観測に優れている. 南海トラフ域では相補的なデータが取得できる 基盤・準基盤観測網による観測や,これらに付随 する観測技術をフル活用して多項目観測を継続 的に推進することが重要である.二つ目は海陸観 測の協調である. 南海トラフの想定震源域は海陸 に跨がっているため、海陸に展開されている様々 な基盤・準基盤観測網等を一つの大きな観測網と 捉えてモニタリングを推進していくとの考え方 が必要である. 三つ目はシミュレーションとモニ タリングとの協調である. これまでの海溝型地震 の予測は,主に統計的手法に基づく時間依存を考 慮しない手法に依っていたが,物理モデルに基づ くシミュレーションとこれによる推移予測に移 行してゆくことにより、その高度化が果たされる. このことは、地震調査研究推進本部の「第3期総 合基本施策」に明確に記されている. 地震発生予 測研究の高度化にも観測が不可欠であることは 言うまでも無い. これら3つの協調こそが、本当 に役に立つ観測・観測網の未来を拓くことになる と信じて疑わない.

参考文献

Araki, E., et al., 2017, Recurring and triggered slow-slip events near the trench at the Nankai Trough subduction megathrust, *Science*, **356**, 1157-1160, doi:10.1126/science.aan3120

Chadwick, W. W., et al., 2006, Vertical deformation monitoring at Axial Seamount since its 1998 eruption

using deep-sea pressure sensors, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **150**, 313–327, doi:10.1016/j.jvolgeores.2005.07.006.

Ito, Y., et al., 2013, Episodic slow slip events in the Japan subduction zone before the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Tectonophysics*, **600**, 14–26, doi: 10.1016/j.tecto.2012.08.022

Kato, T., et al., 2018, Development of GNSS buoy for a synthetic geohazard monitoring system, *J. Disaster Res.*, **13**, 460–471, doi: 10.20965/jdr.2018.p0460

Kido, M., et al., 2006, Seafloor displacement at Kumano-nada caused by the 2004 off Kii Peninsula earthquakes, detected through repeated GPS/Acoustic surveys, *Earth Planet. Space*, **58**, 911–915, doi:10.1186/BF03351996

Kido, M., et al., 2015, Progress in the Project for Development of GPS/Acoustic Technique Over the Last 4 Years, In: Hashimoto M. (eds) *International Symposium on Geodesy for Earthquake and Natural Hazards (GENAH)*, *International Association of Geodesy Symposia*, vol 145, Springer, Cham, 3–10. doi: 10.1007/1345 2015 127

Kido, M., et al., 2018, Onboard realtime processing of GPS-acoustic data for moored buoy-based observation, *J. Disaster Res.*, **13**, 472–488, doi: 10.20965/jdr.2018.p0472

Kimura, H., Tadokoro, K., and Ito, T., 2019, Interplate coupling distribution along the Nankai Trough in southwest Japan estimated from the block motion model based on onshore GNSS and seafloor GNSS/A observations, *J. Geophys. Res.*, **124**, 6140–6164, doi: 10.1029/2018JB016159

名古屋大学環境学研究科,2010,2009年8月11日に発生した駿河湾の地震による海底地殻変動観測,地震予知連絡会会報,83,383-385.

Nishimura, T., 2018, Strain partitioning and interplate coupling along the northern margin of the Philippine Sea plate, estimated from Global Navigation Satellite System and Global Positioning System-Acoustic data, *Geosphere*, **14** (2), 535–551, doi:10.1130/GES01529.1

Ochi, T., 2015, Temporal change in plate coupling and long-term slow slip events in southwestern Japan, Temporal change in plate coupling and long-term slow slip events in southwestern Japan, *Earth and Planet. Sci. Lett.*, **431**, 8–14, doi:10.1016/j.epsl.2015.09.012

Ruiz, S., et al., 2014, Intense foreshocks and a slow slip event preceded the 2014 Iquique *M*w 8.1 earthquake, *Science*, **345**, 1165–1169, doi:10.1126/science.1256074

Tadokoro, K., et al., 2006, Observation of coseismic seafloor crustal deformation due to M7 class offshore earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L23306, doi:10.1029/2006GL026742

Wallace, L. M., et al., 2016, Near-field observations of an offshore *Mw* 6.0 earthquake from an integrated seafloor and subseafloor monitoring network at the Nankai Trough, southwest Japan, *J. Geophys. Res.*,

121, 8338–8351, doi:10.1002/2016JB013417

Watanabe, S., Bock, Y., Melgar, D., and Tadokoro, K., 2018, Tsunami scenarios based on interseismic models along the Nankai trough, Japan, from seafloor and onshore geodesy, *J. Geophys. Res.*, **123**, 2448–2461. doi: 10.1002/2017JB014799

Yokota, Y., 2016, Seafloor geodetic constraints on interplate coupling of the Nankai Trough megathrust zone, *Nature*, **534**, 374–377, doi:10.1038/nature17632

Yokota, Y., Ishikawa, T., and Watanabe, S., 2018, Seafloor crustal deformation data along the subduction zones around Japan obtained by GNSS-A observations, *Scientific Data*, 5:180182,

doi:10.1038/sdata.2018.182

『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』に学ぶ、被害軽減のための地震学の役割

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

南海トラフ地震臨時情報にもとづく防災対応のガイドラインに書かれている最も重要なポイントは,「巨大地震警戒対応」で避難の対象となるのは,「津波からの避難が明らかに間に合わない等, 突発地震に対する災害リスクが高い地域」のみであり,決して全住民・企業が対象ではないという点である.この対象者・対象地域を明確にすることと,このような地域の「解消を目指して防災対策に取り組んでいくこと」が,被害軽減のために本質的である.一方,対象地域の避難対策は,それが解消されるまでの次善の策である.この認識のもとで,被害軽減のための地震学の役割について私見を述べる.

1. はじめに

科学的な知見を適切に社会に活用するには、活用の仕方の前提が、科学的知見から妥当かどうかを吟味する必要がある。その意味で、対策の前提が科学的に妥当とは言えなかった東海地震予知情報がなくなったことは大きな前進と考えている。それに代わって始まった「南海トラフ地震の臨時情報」にもとづく防災対応を検討されたガードラインが、昨年発表された1)。ここには、臨時情報を適切に被害軽減に活かすために重要なイドラインが、様々な観点から書かれている。しかし、地震学的な知見をどのように活用するのが適切かという点は必ずしも明確ではない。そのため、従来の予知情報と警戒宣言の対応関係の知能で、臨時情報とその対策が捉えられているのではないかと危惧している。

そこで本稿では、予知情報から臨時情報に代わったことの意味や臨時情報で示される大地震発生の可能性の高さの相場観を確認した上で、被害軽減のための地震学の役割を、ガイドラインに示された防災対応から学ぶという観点で私見を述べる。

2. 予知情報から臨時情報へ

まず大前提として,南海トラフ地震臨時情報は,地震予知情報ではない.

平成29年7月に公表された「南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性について」²⁾にあるように、「大規模地震対策特別措置法にもと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.このことは、東海地域に限定した場合においても同じである.」として、対策(社会機能の一時停止)に対して No と言った.これは、現在の科学の限界としてではなく、地震の特性として、2~3日以内に、特定の地域で、確実に、大地震が起こることを言い当てることはできないことを宣言したものである.警戒宣言の元になる「前兆すべり」に類似した、ゆっくりす

べりの加速が生じても、その後減速してしばらく 地震に至らない場合(空振り)があり得る³⁾こと 等から、社会機能の一部を数日間停止する前提と なるような確度の高い予測は将来に渡ってでき ない、地震はそのような現象ではない、と宣言し たということである.

確度の高い予測ができないことから予知情報は無くなった一方で、新たに「南海トラフ地震発生の可能性が平常時と比べて相対的に高まった」という南海トラフ地震臨時情報が出されることになった.次節で述べる地震発生の可能性が相対的に高まる相場観からも、これは本来、社会機能の一部を数日間停止するための根拠となる情報ではなく、日頃からの備えのレベルを上げるための情報である.

3. 大地震発生可能性の相場観

科学的に妥当な範囲で対策を考えるという観点で言えば、「南海トラフ地震発生の可能性が平常時と比べて相対的に高まった」という情報を活用するには、その可能性の高さの相場観を知る必要がある。これについて、中谷正生氏がわかり易い解説をされている⁴⁾ので、そこからの抜粋を紹介する。

例1. いわゆる半割れケース:東のセグメントがはねたら、西のセグメントはどれくらい心配か?

	3日以内 (普段は0.01%)		3年以内 (普段は3%)	
過去の経験: B回/A回 [内閣府調査部会資料, 2017]	東南海-南海 1/2 = 50% (善段の5千倍)	全世界 10/96 = 10%	東南海-南海 2/2 = 100% (普段の30倍)	全世界 38/96 = 40%
発生確率 Qの推定範囲 [95%信頼区間]	1-99 % (普段の百倍-1万倍)	5-18%	16-100% (普段の5倍-30倍)	30-50%

- こんなに強烈なQが出る「これこれのこと」は滅多にない。
- あたり前だが、一発目の大地震の予測には無力。(南海トラフ地震の半分くらいは、東西が一気にいく)
 「前兆」というよりは、でかい一発目がでかい二発目をトリガするケース。力学的には当然の現象。二発目を余震として予測しているだけともいえる。

図1 半割れケースの相場観⁴⁾

臨時情報にもとづいて、最大限の対策が求められる「巨大地震警戒」が出される、いわゆる半割れ(南海トラフ全体ではなく、半分程度の広がりの震源域で、Mw8.0 以上の地震が発生したと評価)の場合を考える。

普段,3 日間のうちに M8 クラスの地震が起きる確率は 0.01%. これに対して、M8 が起きた直後に、3 日間以内に M8 が隣接した場所で起きる確率は、過去の南海トラフの例にもとづけば1-99%,世界的に見ると 5-18%となる. これらは、経験数が少ないために 95%の信頼区間が非常に広くなることが考慮されている. 結局、普段の100 倍以上高い確率で起きる可能性はあるが、起きない確率も同程度以上ある. そのような状況でどのような対策をするのが被害軽減のために適切なのか、また、今のうちに何をしておく必要があるのか、以下ではガイドラインの記述を参照しつつ、検討したい.

4. 突発地震への備えの対策が原則であり本命

前述の通り、南海トラフ地震臨時情報は、地震予知情報ではない. 言い換えれば、<u>すべての地震</u>(臨時情報が出された場合を含めて)は「突発地震」と考えて備えの対策をするのが原則である. ガイドラインを含めて、臨時情報が出た場合が、突発的に地震が起きる場合と区別されているが、これは誤解のもとになると考える. 地震がいつ起きるかわからないという意味では、臨時情報が出ても地震は突発的に起きることに変わりはないことを、敢えて強調しておきたい.

図2に示した通り、「巨大地震警戒対応」時であっても、「事前避難対象地域」(後述)を除けば、「日頃からの地震への備えを再確認等」というのが、防災対応として求められるものであり、これは、前述の相場観と整合したものになっている。

	南海トラフ地震防災対策推進地域				
		事前避難対象地域 6			
		高齢者等事前 ⁶ 避難対象地域	住民事前 ⁶ 避難対象地域		
最初の地震発生 から1週間	社会状況を踏まえて 日頃からの地震への備えを再確認 等	要配慮者のみ避難	全住民が避難		
地震発生後 1週間から2週間	日頃からの地震への備えを再確認 等	日頃からの地震への備えを再確認等	日頃からの地震への備えを再確認等		
地震発生後 2週間以降	通常の生活※	通常の生活※	通常の生活※		

※規模地震発生の可能性がなくなったわけではないことに留意しつつ、地震の発生に注意しながも適常の生活を行う 図 21 「巨大地震警戒対応」(M8.0以上の地震発生)時の地域別防災対応 図 2 「巨大地震警戒対応」時の地域別対応 1)

問題は、「事前避難対象地域」である.これは、地震発生後では「津波からの避難が明らかに間に合わない等、突発地震に対する災害リスクが高い地域」(ガイドライン p. 10)であり、ここに住む住民や、その地域内で活動をし、従業員等の生命に危機が及ぶ企業だけは、事前避難等の「日常の生活や企業活動に大きな影響がある防災行動(全住民の避難など)を選択する」(同 p. 10)必要があるとされている(図 2). 逆に言えば、突発地震への対策ができていれば、「巨大地震警戒対応」

でのみ例外的に必要とされる事前避難は,不要になる。

ここで重要なことは、「地震が発生してからの 避難では明らかに避難が間に合わないような地 域があることは望ましくない状態であり、出来得 る限りこの状態の解消を目指して防災対策に取 り組んでいくことが重要である.」(同 p. 10),「こ のようなリスクが高い地域や施設については,津 波から安全に避難できるような施設整備や地域 づくり,建物の耐震化に加えて家具や設備の固定 化などの事前対策を実施することが重要である.」 (同 p.11) というガイドラインの指摘である. このように、突発地震による被害リスクの高い地 域を明確化して事前対策を行うことでリスクを 減らしていくことこそが減災対策の本命である. 一方, リスクの高い地域や高齢者等の要配慮者 の事前避難は,あくまで,本命の対策が完了する までの、暫定的な次善の策である.しかし、臨時 情報の「巨大地震警戒対応」にもとづいた避難へ の対応を,該当する自治体等は準備しなければな らない状況にある. また, 突発地震での被害リス クが高い地域や要配慮者がいる, あるいは, 高い のではないかと漠然とした不安を抱えていると いうことが根本にあり、事前避難に頼りたくなる のではないかと思われる. これらが, 突発地震に よる被害のリスクを減らすための根本的な対策 に遅れを生じさせることになっては本末転倒で ある. まずは、リスクを明確に把握することが、 根本的な対策のためにも, 漠然とした不安の軽減 のためにも必要と考える.

5. 事前避難対象地域の設定によるリスクの把握

「巨大地震警戒対応」で例外的に避難が必要とされているのは、津波による被害を対象とした場合には、地震が起きた後では避難が間に合わない人たちの居る地域(「事前避難対象地域」)のみである。それは、「健常者」ですら地震発生後の避難では間に合わない「住民事前避難対象地域」と、高齢者等の「要配慮者」のみが間に合わない「高齢者等事前避難対象地域」である。この他、揺れや火災、地すべり等による被害のリスクの高い地域も避難対象となる。

これらを設定するためには、どのような地震が起こり得るのか、それによる揺れや津波はどうなるか、さらにそれらが引き起こす火災や地すべり等としてどのようなものが想定されるかを知る必要がある。現時点では、これまでに行われてきた地震・津波のシナリオの評価、それらにもとづく被害想定をもとに検討することになる。まずは、現状の情報にもとづいて、突発地震による被害のリスクの把握を行うことが、臨時情報への対応で行われるべき最優先事項である。それが避難対象を決めることになる(場合によっては対象がないこともあり得る)ので、本来は、避難対応の検討

よりも先に終わらせておく必要がある.

6. 今後に向けて

リスク把握のために使われる被害想定や、そのもとになる地震・津波のシナリオが、次の南海トラフの地震への備えとして妥当なものかどうかは、まだ検討の余地がある。少なくとも、従来の被害予測手法は、過去の経験則にもとづいたものである。地震の場合、同じ場所で繰り返し経験を蓄積することは困難なので、異なる特性をもつ他地域の経験や限られた古い経験に頼ることになる。

将来発生する巨大地震に対して、より科学的に 合理的な災害・被害の予測を行い、より適切なり スク評価につなげるには、地震の発生からはじま り,揺れや津波,各被害に至るまでの様々な現象 と、その予測を扱う幅広い分野にまたがる最新の 知見をもとにした分野横断の研究開発が必要で ある. 筆者が関わってきたポスト京重点課題プロ ジェクト「地震・津波による複合災害の統合的予 測システムの構築 5 は、そのような取組の1つ である. 分野横断で大規模シミュレーション技術 を組み合わせることで、日本列島全域を対象とし て地震の震源域から都市までの揺れや津波を計 算したり, 地盤から地上・地下の構造物まで含め て都市まるごとの揺れや津波溯上を計算したり, それらによる被害推定,避難・交通・経済復旧を 行ったりするアプリケーションの開発を進めて

今後は、Society5.0等によって充実するデジタル情報と大規模シミュレーション・データ解析技術を組み合わせ、そこに地震学と様々な工学・社会科学の最新の知見を取り込むことで、より科学的に合理的なリスク評価を進めていく必要がある.

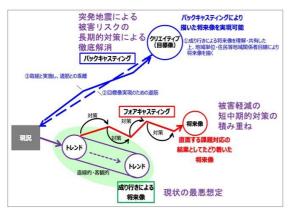


図3 突発地震による被害リスク解消を目指したバックキャスティング.まちづくりシ ミュレータマニュアル⁶⁾の図に加筆.

一方,リスクが適切に評価できても,リスクを解消するための根本的な対策には,時間も費用もかかり,個人や個々の企業,あるいは地方自治

体のみで対応できるものではない.しかし,現状のリスクを適切に捉え,長期的かつ広い視野で事前対策を検討するバックキャスティング(将来像を起点とした目標実現型の取組)による防災まちづくり⁶⁾に今から取り組んでいけば,大幅な被害軽減につながるのではないかと考えている(図3). 突発地震のリスクが高い地域で,住民等の地域関係者が,このリスクの解消を必須の将来目標の1つとして,将来の世代の暮らしも見据えてまちづくりを検討していくことと,国の全面的なバックアップが望まれる.その際,前述のリスクの定量的な評価,そのもとになる災害・被害予測のデジタル情報基盤は,まさに必須のものとなる.

7. まとめと地震学の役割

数日以内に大地震が発生することを確度高く言うことはできないという地震学の知見に沿って、 予知情報はなくなり、南海トラフ地震臨時情報が始まった.「巨大地震警戒対応」の場合であっても、大地震発生可能性の相場観に合う防災対応は、「日頃からの地震への備えを再確認等」である. 予知情報の時には、事前避難をするための確かな根拠を与えることが地震学の役割の1つだったが、それが科学的に適切でないから臨時情報になった.事前避難は、避難しても地震が起きない場合のデメリットを考慮しても余りあるほど、突発地震による被害のリスクが高い地域や要配慮者だけ例外的に行うものである.

では、地震学の役割はどこにあるのか?1つは、 地下で何が起きているのか、起きたのかを、災害 時だけでなく、平常時から明らかにして知らせる ことである。今後もそれをより迅速かつより正確 (誤差の定量化を含めて)にすることで、緊急地 震速報や津波警報の改善はもちろん、災害発生時 に、何が起きているかわからない状態がもたらす 不安を和らげることにも貢献できると思われる。

さらに重要な役割は、様々な工学・社会科学の 分野との横断で、科学的に合理的なリスク評価を 行う情報基盤システムの構築の上で、より適切な ハザード評価の部分に貢献することである。これ により、突発地震のリスクが高い地域の明確化や そのリスク軽減のための対策の立案、対策による 効果の定量的予測や評価、ひいては、事前対策の 大幅な促進にもつながると期待される。

次の南海トラフ地震は、今の社会のシステムやその延長で迎えれば、国としての存続が危うい、まさに国難となる。それを防ぐには、図3で示したバックキャスティングによる長期的な対策を、今できるところから始めることが不可欠である。南海トラフ地震臨時情報とそれを受けた防災対応は、長期的な対策に着手するための絶好の機会ではないだろうか。

なお、バックキャスティングという意味では、 まず被害軽減のために何をするかの目標を具体 的に設定し、次に、そのためにどのような情報が 南海トラフ地震の発生前に必要となるのかを考 え(それが、南海トラフ地震臨時情報の中身とし て相応しいものとなる)、その上で、発生前の情 報のために、地震発生予測や災害予測・被害予測 の観点で、どのような研究開発が必要になるのか を考えることが本来の順番である。本稿は、その ようになってない現状で、すでに走りだしている 南海トラフ地震臨時情報を被害軽減に活かすた めの地震学の役割について、対策ガイドラインを 参考にして私見を述べたものである。

これに対して、バックキャスティングの意味で、 南海トラフ地震臨時情報の中身、あるいは、南海 トラフ地震臨時情報のそもそもの必要性を再検 討するという観点での議論が、今後の見直しのた めには不可欠である.これは、被害の軽減に貢献 するために、地震学としてどのような研究開発が さらに必要なのかを考える上でも本質的な観点 である.しかし、現時点では、そのような議論や 検討が十分できていないのが実情であり、今後の 最優先の課題である.

参考文献

- 1) 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.
- 2) 内閣府(防災担当), 2017, 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,南海トラフ沿いの大規模地震の予測可能性について.
- 3) Noda, H. and T. Hori, 2014, Under what circumstances does a seismogenic patch produce aseismic transients in the later interseismic period?, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 7477-7484, doi:10.1002/2014GL061676.
- 4) 中谷正生, 2019, 経験則による地震予知-どの程 度 の 予 測 な の か ? , https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/sympo/kichol.pdf
- 5) http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/LsETD/Post_K/bosaitop/index.html
- 6) ストック型社会の実現に向けた情報基盤の 整備に関する検討委員会,2019,「まちづく りシミュレータマニュアル(案)~ストック 型社会の実現に向けた情報基盤の検討~

臨時情報への組織対応に貢献しうる地震学からのアウトプットについて

東北大学 災害科学国際研究所 木戸元之

気象庁による「南海トラフ地震臨時情報」の発表と社会対応の仕組みの運用が開始されたことに伴い、情報が発表された際の各組織レベルでの対応について事前に検討しておくことが急務となっている。東北大学災害科学国際研究所では、特に社会全体への影響の大きい、行政、企業等の組織に向けた対応計画作成支援パッケージを構築するために、地震学に基づくハザード事象系統樹を踏まえた起こりうる現象の可視化や、各組織の推奨対応レシピの作成に取り組んでいる。これらの試みについて紹介し、地震学の知見の利活用を検討するうえでポイントとなりうる考え方について述べる。

1. はじめに

地震予知を前提とした大規模地震対策特別措 置法(大震法)に基づく行動計画には,内閣総理 大臣が強化地域での社会活動を制約する警戒宣 言の発令時の対応や、それを実現するための事前 の観測体制・防災体制の整備が定められていた. しかし,阪神淡路大震災と東日本大震災を教訓と して大震法にかわり 2017年11月から「南海トラ フ地震に関連する情報」(現在は、「南海トラフ地 震臨時情報」) の運用が開始された. これに対し て国が示したガイドラインは、国民、さらには各 組織の行動計画に大きく選択の余地を残すもの であったため、自治体や企業は、それぞれの実情 に合わせた具体的な防災計画を建てる必要に迫 られている. 東北大学災害科学国際研究所では, そのニーズについて研究するため 2016 年より南 海トラフ地震予測対応勉強会を外部講師も交え て定期的に開催し、2018年には勉強会の成果・報 告レポートをとりまとめ、公開した [福島・他 (2018)]. さらにこれらの成果を踏まえ, 2019年か ら公益財団法人セコム科学技術振興財団特定領 域研究「南海トラフ地震の事前情報に関する組織 の対応計画作成支援パッケージの開発」(代表: 福島洋)の助成を受け、行政・企業に向けた避難 計画や BCP (事業継続計画) に資する情報提供に ついて多角的に研究している. 本稿では、その取 り組みについて紹介するとともに, 提供情報の前 提条件となる地震学の知見を,いかにわかりやす くアウトプットするかについて述べる.

2. セコム財団特定領域研究の概要

本研究は,文理融合型である災害科学国際研究所の特徴を活かし,研究推進体制として「現象評価研究班」,「社会影響研究班」,「対応行動体系化班」の3班で構成し(図1),相互に研究成果の入出力を行うことで「南海トラフ地震臨時情報」が提供された後の様々な地震学的なシナリオに基づいた社会的に効果的な対応計画支援パッケージを対象地区に最適化した形で提示するものである.対象地区として高知市をモデルケースと

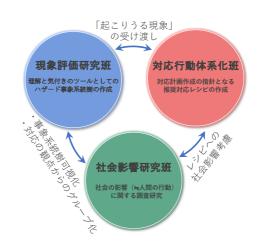


図1 研究推進体制

して選定し、高知県および商工会議所を協働相手 として、ニーズ・シーズの情報を交換して完成度 の高いパッケージの作成を目指している.

臨時情報が発令されるのは「南海トラフ沿いの 大規模地震発生の可能性が平常時と比べて相対 的に高まったと評価された場合 | 等である. その 中の典型例として、いわゆる「半割れ」や「一部 割れ」のイベント後の連動地震や誘発地震が想定 される場合が挙げられる. これまで, 長期地震予 測評価に基づき巨大地震発生前の状態で備える 他, 地震発生直後の地震速報や津波早期警報等に 基づく避難訓練が想定されていたが, あるイベン トを時系列の起点として, 週単位で変化する地震 リスクを勘案した短期的にとるべき対応につい ては、これまであまり馴染みのなかった概念であ る. 起点となる地震の大きさと、発生からの時間 (週単位) に応じて「巨大地震警戒」・「巨大地震 注意」等の指針も同時に示させることになるが、 組織ごとに難しい対応を迫られることとなる.

最初のイベント後のリスクの時空間的な推移によって最適な対応も変わりうるため、対応策を練る上で前提となるその推移の予測は、仮に確率論的であるにしても、科学に基づく「尤もらしい」ものであることが求められる。そこで地震学が必要となってくる。

3. 確率つき地震シナリオと津波浸水予測

半割れや一部割れの地震に続いて発生するイベントの予測は、観測値から決定論的に推定することは現状の地震学では不可能であるので、地震の短期確率評価として求めることになる。また、本研究の目的としては、あくまでもイベント後の推移を事前に想定しておくものであるので、実際のイベント後の余震活動や地殻変動データをリアルタイムで同化させるわけではない。そのため、過去の同様のイベント後の経過の事例を集めた統計データを採用することになる(例えばGEAR1モデル;Bird et al., 2015)。また、発生からの時間経過による確率の減少も大森則等で表現する。

本研究では、南海トラフ地震で最も大きな被害要因になると予想される、津波浸水に焦点を当てる。例えば紀伊半島の東側での半割れイベントを例に取ると、過去の統計データから、続く連動地震が1週間以内に発生する確率、次の1週間に発生する確率などが、連動地震のサイズごとに定義できる。一方で、割れ残った範囲の様々な場所・サイズの断層を多数のシナリオとして用意し、それぞれの断層について津波浸水計算を予め試行し、上記の確率に基づき重み付けすることで、陸上の各点での短期的 PTHA (Probabilistic Tsunami Hazard Analysis) を見積もることができる。

4. アウトプットの最適な表現

各シナリオによる陸上各点の浸水計算結果のメタデータ(最大浸水深,浸水開始時刻等)をメッシュとして保存しておけば、上記の重み付けを適用することで、イベント後の1週間で浸水に見舞われる確率、平均浸水深、平均到達時刻、さらにそれらの最大値・最早時刻などを、任意の点について、あるいは面的に示すことが可能になる.

これらのうち、どのようなデータをアウトプットとして提供するべきかは、利用する側に依存する。例えば、自治体等が人命第一で対応する場合は、最大値・最早時刻が重要になるであろうし、企業にとってみれば、資産価値に換算できる物資、それを退避させるためのコストなど定量化して損得を計算できるものに対しては平均値、あるいはその分散が有効であろう。こういった情報が地理的場所の関数として、例えば倉庫ごとに得られるのは、きめ細かく最適な判断をするための重要な指針となる。

南海トラフ地震臨時情報対応では、移動に時間がかかる人を優先的に事前避難させる必要があるが、マップ上で情報が示されることで、避難経路の選定、それにかかる避難時間から優先させる人の線引きに利用できる。また、地震学者が持つ地震発生の見通しに関する相場観を住民と共有できれば、実際に住民の避難行動の動機付けや、不必要な恐れの回避に役立つと考えられる。この

ような地震学者の相場観を適切に伝える努力も必要である.

5. 議論

我々の研究プロジェクトにおいて、社会影響研究班は、既に半割れなどで一定の被害を受けた条件下での週単位の避難行動が社会に及ぼす影響についての解析や、一般へのアンケート調査等を実施している。対応行動体系化班では、自治体や企業(商工会議所)との協議を重ね、本当に必要な情報のニーズの把握につとめ、推奨対応レシピを提示し、BCPを臨時情報対応型に拡張させる取り組みをしている。現象評価研究班の解析で得られる浸水予測情報は、研究グループで共有し、他班の取り組みにも活かしていく予定である。

現状では、ニーズとのバランスを考えると、必 要以上にモデルを精緻化するよりは, 津波浸水予 測のアウトプットをどのような形で提供するこ とがより役に立つかの模索が重要である.一方で, 近年, 海・陸の観測網が整備され, 巨大地震前に それをトリガーするようなスロースリップが発 生する場合があることがわかってきている(例え ば, Kato et al., 2012; Ito et al., 2013). 今後, 南海 トラフ地震が発生するまでの平均的な期間を考 えると、陸上データはもとより、海底での地震や 特に地殻変動の観測網は、その密度に加え精度・ リアルタイム性が格段に向上することが予想さ れる. このため、イベント発生後にリアルタイム の観測情報を同化した動的な避難計画の修正が 課題となってくることが予想される. 地震学者の 研究のベクトルがそのようなブレークスルーに 向けられ, 結果として効果的に防災に役立てられ ることが理想であると考える.

参考文献

- Bird, P., D. D. Jackson, Y. Y. Kagan, C. Kreemer, and R. Stein, GEAR1: A Global Earthquake Activity Rate model constructed from geodetic strain rates and smoothed seismicity, Bull. Seism. Soc. Am., 105, doi:10.1785/0120150058.
- Ito, Y. et al., 2013, Episodic slow slip events in the Japan subduction zone before the 2011 Tohoku-Oki earthquake, Tetonophys., **600**, 14-26, doi:10.1016/j.tecto.2012.08.022.
- Kato, A., K. Obara, T. Igarashi, H. Tsuruoka, S. Nakagawa, and N. Hirata, 2012, Propagation of Slow Slip Leading Up to the 2011 Mw 9.0 Tohoku-Oki Earthquake, Science, 335, 705-708, doi:10.1126/science.1215141.
- 福島洋・他, 2018, 東北大学災害科学国際研究所 勉強会「南海トラフ沿い大規模地震に関する 予測的情報に基づく社会対応のあり方」成果・ 報告レポート集, pp. 93
 - https://irides.tohoku.ac.jp/research/prompt_investigation/nankaitrough.html

地震学と防災の関係について――南海トラフ臨時情報の課題

フリーライター 飯田和樹

全国紙の記者、そしてフリーランスのライターとして、大規模地震対策特別措置法(大震法)や南海トラフ臨時情報などについて取材してきました。その過程で考えたことや感じたことなどについて、昨年9月のシンポジウムで話をする機会を与えていただきました。「東海地震だけを特別扱いするのはおかしい」と言い続けていた私が、東海地震が特別扱いされなくなった今、どう考えるようになったのか。当日発表した原稿を紹介させていただきます。

1. はじめに(自己紹介)

フリーランスのライターの飯田和樹といいます.本日は,このような場でお話をする機会をいただきまして,誠にありがとうございます.

まず、これまでにお話された先生方と違って、 私がどんな人間かわからないと、お話も聞いてい ただけないかと思いますので、簡単に自己紹介を させていただきます.

私は今43歳.今日の会場から、そんなにはなれていない場所にある同志社大学を1999年に卒業しましたが、就職先がなく、フリーターになりました。それから、なんとかかんとか、業界紙に潜り込み、4年ほどそこで勤めたあと、毎日新聞に移りました。

毎日新聞では、名古屋の中部本社などで警察担当をした後、東京社会部で防災担当になりました。その後、別の担当になったのですが、しばらくして、今度は東京の科学環境部というところに移り、今度は科学の観点から防災分野を取材することになります.

その後、思うところあって、昨年3月に毎日新聞を退職し、フリーランスになりました。今は、ヤフーさんがやっているネットメディア「THE PAGE」というところで記事を書いたり、外部のライターさんの原稿を見たりしながら、時折、別の仕事も受けて…という感じです。

おかげさまで、フリーランスになった後もちょこちょこと原稿を書かせていただいているのですが、その中には、本日のテーマである「南海トラフ臨時情報」の記事もあったりします.

自己紹介はこのぐらいにしたいと思います. 私 は専門家でもなければ, いまは大きなメディアに いるわけでもありません. そんなよくわからない 立場ではありますが, 南海トラフ臨時情報につい て思うことなど, 少しお話しできれば, と思います.

2. 南海トラフ臨時情報の課題

私は先ほど、社会部で防災担当をやっていたといいましたが、その担当時代に東北地方太平洋沖地震が発生しました。実は、その2カ月ほど前に、

「超巨大地震」というタイトルの5回連載の記事を当時の同僚の記者たちと一緒に書いているのですが、そのときの私の問題意識は、「東海地震の予知なんておかしい、早くやめたほうがよい」というものでした。「唯一予知できるとして東海地震を特別扱いしている大震法は現状に見合っていない、見直せ」といったことを書きました。

そして、科学環境部として、この分野の取材に 戻ってきたときに、南海トラフ臨時情報の議論が 始まりました。最初は「ようやく見直されること になったか。よかった、よかった」などと思いな がら(とはいえ、初報を読売新聞にスクープされ た悔しさはありました)、ワーキンググループの 会議を傍聴、取材していたのですが、途中からい ろいろ違和感を持ち始めました。

何を思ったかというと、「これ(臨時情報)って、これまでやってきたことは間違いではないから、引き続きやっていきます。ただ、われわれは過大な責任を負うことはできないのだから、その荷物だけは軽くしよう、というミッションなんじゃないのか?」と思えてきたのです。

それでも,一応の結論が出た時,私はどちらかというと前向きなことを毎日新聞の名物コラム「記者の目」[飯田 (2017)]に書きました.

「過去に南海トラフ全域が一度に連動した巨大 地震が発生しているのに、前兆を東海地震に限定 して考え、南海トラフ全体として検討する機会が 奪われてきたことが、弊害の一つ。また、今回、 いろいろ議論しているように、確実ではないあや ふやな情報を使えるのか使えないのか、使えると したら、どんなことができるのかという議論に着 手することができなかったというのもまた大き な弊害の一つ。東海地震だけを特別扱いしている うちに、貴重な時間を失ったのだ」

「でも,予知できないと言い切ったことで,こうした難しい宿題に着手する機会をようやく得ることができた」といった感じの内容です.

さらに、その中で、次のようなことも書きました。人の言葉を借りてですが、「最新の学問をその都度、危機管理に採用することを我々はやったことがない。新しい知見が出るたびに防災対策を見直し、これまでの知見が間違っていれば、すぐ

に見直しのサイクルに入る. 科学と社会の連携が 求められる新しい防災の挑戦だ!

「ただ、その挑戦を成功させるためには、研究者はふだんから今の地震学では予測はあいまいにならざるを得ないことを社会にきちんと伝える必要がある。そのうえで行政が、耐震補強や避難道路の確保など、普段からハードとソフトの両面で防災対策を進めれば、緊急時に取る対応は軽くて済み、あいまいな情報でも被害軽減につなげやすくなるのではないのか」

よくよく思い出してみると、私はたぶんもっとえげつないこと、というか、身もふたもないことを書いていて、それを当時のデスクに丸められた結果、こういう記事になったような記憶があります。もともとは、さっき書いたような前向きなことができないのであれば、新しくできる臨時情報なんて役に立たないばかりか、新たな混乱の種になるだけだろう、といったことを書いていたと思います。

ちなみに、この時とちょうど同じ時期、東北大 学災害科学国際研究所からお話をいただき、意見 交換会に参加させていただく機会を得たのです が、私はその席で「不確実情報を市民の実際の防 災に生かそうとすることは、少なくとも現時点で は困難である」と主張していたようです[中鉢・ 久利 (2018)]. そのうえで「防災対策をし尽くし たうえで、さらに被害を減らそうということであ れば、あくまで可能性として不確実情報を利用で きる余地があるかもしれない」と話していました.

そして、昨年 12 月、フリーランスとなった立場で、やはり臨時情報について、私は記事を書きました。その中で「臨時情報は、通常必要と考えられる地震対策をこれまで以上に追い込んで考えた上で、それでもどうしても防げない可能性がある犠牲を減らすために活用するというのが理想だろう。(中略) 臨時情報が果たすべき役割をできるだけ小さくしていくことが重要だ」[飯田(2018)]と書きました。

このように過去の自分の記事を読み返してみると、おそらく私は、この臨時情報というか、地震予測を防災に生かすということに対して、あまり期待をしていないということなのだと思います。もしかしたら、いくつかの好条件が重なり、現行の社会の体制のままであっても、偶然、うまく活用できることがあるかもしれない。

しかし、私自身はそれよりも必要なことがある と思っています. それが何かというと、「今、で きるはずのことが、まだできていないのだという 認識を持っている」ということなのだと思います.

どういうことかといいますと、たとえば、昭和の東南海、南海地震の時に、私たちの父母や祖父母は、いまのように理論を伴った形では、南海トラフ地震が繰り返し起きるということを知らな

かった.

しかし、21世紀を生きている私たちの世代は、当然国民全員ではないですが、少なくともこの会場にいる方々は、過去に、南海トラフ地震がある一定程度の間隔で繰り返し起きていたことを知っていて、そのことから考えると、次、またおなじような間隔で起きる可能性は少なからずありそうだ、という知見を持っているわけです。

そして、完全にではないにしても、なぜ南海トラフ地震がそのように繰り返し起きるのか、という物理も少しずつではありますが、やはりここに集まられているような方々の日々の努力で解明されていっているわけです。

地震学ってすごいな、と素直に思います.

しかし、こうした地震学の知見は、今、本当に 防災に生かされているのでしょうか?

私以外の専門家の発表者の方々がお話になった、いわば先端の話の内容は、どれもとても面白くて、個人的には、一人一人にきちんと取材し、「現在の地震学のレベルとはこうなんですよ」でもわからないこともたくさんあるんですよ」というような記事を書きたい、と思いました。しかし、その最先端の研究を防災に活用するかしないか、ということを議論する以前に、もっと基礎的な地震学の知見を防災に活用できていないのが現状なのではないか、と私は思っています。

例えば内閣府の資料で、3つのケースの防災対応の流れというものを見ると、巨大地震警戒対応の欄にこんなことが書いてあります.

「地震発生後の避難で明らかに避難が完了できない地域の住民は避難」

静岡新聞の記事の表を見ると、「沿岸自治体は、 後発地震が起きてからでは避難が間に合わない 『事前避難対象地域』をあらかじめ策定し、地域 の対策計画に盛り込む」と書いてあります.

明らかに避難が完了できない地域の住民がいることがわかっている。そして、臨時情報というのは必ず出るわけではないことも分かっている。であるならば、まだまだ何かできること、しなければいけないことがあるのではないでしょうか?

生活する中で海に近づかなければいけない、あるいは、老朽化した耐震性の著しく低い建物に入らなければいけないというケースはあるでしょう。そういう人のためには、最新の知見を導入した臨時情報も大いに役立つだろうと思います。

しかし、その場合も、どのような情報があれば 役に立つのか、住民はどのようなニーズを持って いるのか、というところが出発点になるべきだと おもいます.

「住民のみなさんが知りたいのはそういうことですか. そのようなニーズであれば,地震学のこうした知見で応えられるのではないでしょうか」

こういうものであるべきだろうと思います.

しかし、今の臨時情報は「現在の地震学ではこういうことをいうことができます.だから、地震学の知見をうまく使ってください」というものになっているような気がしてならないのです.

地震学の側からすれば、臨時情報は、もし出すべきなのに出さなかったら、それは何らかの責任問題になるのでしょうが、出してしまえば、当たろうが外れようが、責任は負いませんよ、というしくみですよね?

一方,行政や企業なんかは,この情報に対して,適切な対応を取るように準備を万全にしなければならず,もし対応をミスすれば,東北地方太平洋沖地震があった後と同じように,裁判沙汰になってしまうだろうと思います.

でも、本当にそこまでの情報なのでしょうか? 私は、そうならないためにも、臨時情報って、 大した情報じゃない、あってもなくてもそんなに 変わらないのだ、という体制を築いていかないと いけないと思います.

また、地震が起きずに解除、ということについては、時間が経過すれば、まあ、いってみれば、機械的に解除されるわけですが、私がもし家族が「地震発生後の避難で明らかに避難が完了できない地域」に住んでいたら、解除されても、元に戻るな、というかもしれませんね。だって、私が知っている限りでは、日に日に地震発生に近づいているわけですから。

あと、これは、このあとのパネルディスカッションのはなしになるのかもしれないですが、臨時情報って、なぜ、南海トラフだけなのでしょうか? 半割れは、過去にそういうことがあったからという理由がある気はします。ただ、ケース2の一部割れはどうなのでしょう?

2011年の3月9日があって,3月11日があったはずですが,日本海溝はいいのでしょうか?いつおきてもおかしくないという千島海溝はいいのでしょうか?

もっというと、臨時情報って大きな意味で、「大きな地震があった直後は、その隣接する領域ではでっかい余震、時には元のより大きな地震が起こることがあるから気をつけましょう」というものですよね。であれば、サンプル数の少ない統計を使って確率がどうこう、ということをいわなくても、過去にこういうことがあったから、という理由で、熊本地震のような内陸の場合には使えないのでしょうか?

地震は起きるか,起きないかの二択で,起きる 可能性が高まっているのではなくて,普段より起 きる可能性が高いのではないかと考えられるの で情報を発信しているのだということであれば, いえるような気がするのですけど,どうなのでし ょうか? 「それでは、社会的影響が…」という意見があるかもしれませんが、いや、それでも、海溝型については、範囲を拡大しない理由はないような気もします。

すみません,後半はまとまりがなく,思っていることの羅列になってしまいました.まとめとしては,

- 1) 臨時情報の役割,存在感をいかに小さくするかが,臨時情報を巡る課題.まだやれば効果があるのにやっていないことはたくさんあるはず.
- 2) 地震学を防災に生かすために必要なことは、まず住民のニーズを知ることではないか.この場合の住民というのは、基礎自治体のことではなく一人一人の住民.

といったところになるでしょうか.

本日はどうもありがとうございました.

参考文献

中鉢奈津子・久利美和, 2018, 研究者と市民の災害科学情報コミュニケーションー特に学術とメディアの連携による社会発信に着目して一, 東北大学災害科学国際研究所勉強会 「南海トラフ沿い大規模地震に関する予測的情報に基づく社会対応のあり方」 成果・報告レポート集, 37-48, http://irides.tohoku.ac.jp/media/files/earthquake/nank ai_trough/IRIDeS_NankaiTroughReport_Apr2018_0 5.pdf.

飯田和樹, 2017, 東海地震 「予知不能」へ転換, 毎日新聞, 2017 年 9 月 28 日東京朝刊, https://mainichi.jp/articles/20170928/ddm/005/070/016000c.

飯田和樹, 2018, 南海トラフ地震 「臨時情報」空 振りも地震対策強化につなげる姿勢が肝心, THE PAGE,

https://headlines.yahoo.co.jp/hl?a=20181212-000100 00-wordleaf-soci .

「南海トラフ地震臨時情報」体制への疑問

神戸大学名誉教授 石橋克彦

南海トラフ地震に関して、気象庁の「臨時情報」で防災対応を開始する体制が2019年5月に始まった.しかし、地震発生予測が実用的であるかのような仕組みは問題である.「半割れケース」では最初の大地震で気象庁の通常業務のもとに広域で避難等がなされるだろうから「臨時情報」は不要であるし、防災対応を遅らすおそれすらある.大地震が続発するという前提の計画こそを構築し徹底すべきである.一方、ケースを限定せずに、万一の注意報的なものへの社会の対応も考えておくほうがよい.地震対策の本質ではないが、「南海トラフ」という用語の便宜的使用や1854年地震の時間差の古い認識「32時間」の喧伝など、防災行政の情報が社会の地震知識や学術に負の影響を与えることも指摘する.

1. はじめに

2017年秋に、大地震の直前予知が可能であることを前提にした大規模地震対策特別措置法(以下、大震法)による「東海地震」対策が大きく転換した. 同年9月26日に開かれた中央防災会議の専門調査会「防災対策実行会議」において、南海トラフ地震対応を早急に見直し、最新の科学的知見を生かした新たな防災対応の構築を急ぐ必要があるとされたからである. 気象庁は同年11月1日から「南海トラフ地震に関連する情報」を発表することとし、「東海地震」のみに着目した「東海地震に関連する情報」の発表は取り止めた.

この転換は、防災対策実行会議に設置されていた「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」(以下、防災対応検討WG17;主査、平田直東京大学教授)の報告にもとづいている。それは「現在の科学的知見からは確度の高い地震の予測は難しいから、大震法による地震防災応急対策は改める必要がある。一方で、南海トラフ沿いの観測網の充実により様々な異常な現象を捉えることが可能になってきた。現在の科学的知見を十分に活用して、大地震発生前に起こりうる現象を想定し、あらかじめ対応を考えることは極めて重要である」という主旨を述べ、観測される可能性が高く、かつ大地震につながる可能性がある4ケースについて、科学的評価とそれにもとづく防災対応を例示した。

以上の動きに対して筆者は、2017年9月末の時点で疑問を提出し(石橋,2017)、2018年3月初旬の時点でさらに詳しく批判した(石橋,2018).その要点は「大地震発生前に情報が出せるという科学的根拠は疑問であり、しかもケース1(後述の「半割れケース」)では情報発表前に後発地震が発生するおそれもある.発想全体が大震法の『予知型地震防災』を引きずっている感があり、全国の地震対策にとって望ましくない.大震法を廃止し、複数の地震関連法を一本化すべきだ.その際、全国どこでも大地震が突発的に起こることを大前提とし、震災軽減を地震科学に頼りすぎないほうがよい.一方、どこでも稀に地震発生予測がなされる可能性はあるから、それを活かす仕組みも用意し

ておくべきだ」というものであった.

しかし、その後、筆者が「『発生予測型』南海トラフ地震対策」と呼んで批判したものが一層具体化され、2019年5月から正式の体制となった.だが、その内容は非現実的であるとともに、地震発生予測の実力について社会に誤解を与えかねない.基本的考え方は石橋(2017,2018)のくり返しになるが、現状の問題点を再論したい.

2. 2018年度以降の南海トラフ地震対策

現在の南海トラフ地震対策の体制ができるまでの経緯がわかりにくいので、まずそれをまとめておく(2017年度末までは石橋(2018)に詳しい).

2018年12月25日「防災対応のあり方」報告

2018年3月27日に防災対策実行会議に「南海ト ラフ沿いの異常な現象への防災対応検討ワーキ ンググループ」(以下,防災対応検討WG18;主査, 福和伸夫名古屋大学教授)が設置された. そこでは, 南海トラフ沿いで異常な現象が観測された場合 の防災対応の在り方や, 防災対応を実行するにあ たっての仕組み等が検討され、同年12月25日に 「南海トラフ沿いの異常な現象への防災対応の あり方について(報告)」(以下,「防災対応のあり方」 報告;防災対応検討WG18,2018)が公表された.こ の間, 防災対応をとるべき異常な現象だと判断す るための基準や留意点等を整理するために、同W Gのもとに「防災対応のための南海トラフ沿いの 異常な現象に関する評価基準検討部会」(以下, 評価基準検討部会;座長,山岡耕春名古屋大学教授)が 設置され、この部会も同じ12月25日に「とりまと め」(評価基準検討部会,2018)を公表した.

「防災対応のあり方」報告は、「半割れケース」 (南海トラフの想定震源域内でMw8.0以上の地震が発生)、「一部割れケース」(想定震源域内でMw7.0以上8.0未満の地震が発生)、「ゆっくりすべりケース」(短期間にプレート境界の固着状態が明らかに変化しているようなゆっくりすべりを観測)の3ケースに限って、住民や企業等の防災対応の方向性や、防災対応実施のための仕組みなどを検討した.

2019年3月29日「防災対応検討GL」公表

この日に内閣府(防災担当)が「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)」(以下,防災対応検討GL)を公表し,地方公共団体や企業等が防災計画を策定する際の参考として,上記3ケースごとの具体的な防災対応を整理した.なお,これは5月に一部改訂された(内閣府[防災担当],2019).

2019年5月31日「防災対策推進基本計画」修正

この日の第39回中央防災会議で,「南海トラフ地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法」(以下,南海トラフ特措法;2013年11月29日公布)にもとづく「南海トラフ地震防災対策推進基本計画」が修正された(中央防災会議,2019). 大きな修正点は,前述の「防災対応のあり方」報告を踏まえた変更で,次項の「南海トラフ地震臨時情報(巨大地震警戒)」が発表された場合に政府や地方公共団体等がとる措置や,緊急災害対策本部長と内閣総理大臣の任務など(後述)が明記された.

「南海トラフ地震臨時情報」体制の開始

気象庁(2019)は、上記「基本計画」の修正にあわせて、2019年5月31日15時から「南海トラフ地震臨時情報」および「南海トラフ地震関連解説情報」(「南海トラフ地震に関連する情報」の変更)の提供を開始した。「南海トラフ地震臨時情報」には(調査中)、(巨大地震警戒)、(巨大地震注意)、(調査終了)のいずれかのキーワードを付すという。

こうして私たちは、南海トラフ沿いで異常な現象が観測され、南海トラフ巨大地震の発生可能性が相対的に高まったと評価された場合に、気象庁から「南海トラフ地震臨時情報」が発表され、内閣総理大臣から地震発生に警戒する措置をとるべきことを周知されるという仕組みの中に置かれることになった。これを小論では「『南海トラフ地震臨時情報』体制」と呼ぼう。

しかし石橋(2017, 2018)が指摘したように,地震発生予測の科学は,具体的状況ごとに最高度の創造的判断を要求される研究的レベルであり,防災対応の仕組みの根底に安易に組み込むのは不適当だと思われる.しかも,「半割れケース」のシナリオは以下のように非現実的であり,「臨時情報」は不要なだけでなく有害とすらいえよう.

3. 「半割れケース」対応の非現実性と危険性

防災対応検討GLによれば、南海トラフの半分程度でMw8クラスの地震が発生した場合(半割れケース)の臨時情報に関係した防災対応のシナリオは以下のようである.

気象庁は、地震発生の5~30分後程度に後発地 震の発生可能性についての調査を開始して「南海 トラフ地震臨時情報(調査中)」を発表し、「南海 トラフ沿いの地震に関する評価検討会」(以下、 評価検討会)を開催する.この間に政府は初動対応 を開始し、最初の地震発生に関する会見をおこな い、緊急対策本部を設置する.都府県・市町村は 災害対策本部等の体制の準備をおこなう.住民・ 企業は、避難等を実施する準備をしたり、個々の 状況に応じて避難を開始したりする.

最短で2時間後に評価検討会が後発地震発生の可能性が相対的に高まったと判断すると,気象庁は「南海トラフ地震臨時情報(巨大地震警戒)」を発表する.その報告を受けて,政府の緊急対策本部長は関係都府県知事・市町村長に,後発地震に対して1週間の警戒措置をとるべき旨を指示する.この指示があったとき,内閣総理大臣は国民に対する周知をおこなう.これを受けて都府県・市町村は災害対策本部等の体制を確保し,住民・企業は防災対応を実施する.

以上が「南海トラフ地震臨時情報」体制における「半割れケース」の防災対応である.

しかし、このシナリオは、現実の「半割れケース」をリアルに思い浮かべれば、非現実的であるとともに、迅速で効果的な防災行動を阻害する危険性をはらんでいるとさえいえる。

例えば東半分で1854年安政東海地震のような Mw8以上の地震が発生した場合,高知県あたりの 海岸低地でも震度5弱~5強となり,尋常ではない 長時間の揺れを感じるだろう.何の情報がなくて も人々は直ちに津波を警戒して避難すべきであ る.いっぽう気象庁は通常業務の範囲内で,数秒 ~10数秒以内に緊急地震速報を発表し,1.5~2 分後には震度速報,2~3分後には津波警報等(第1 報),約5分後には震源・震度情報を発表する(例 えば、防災対応検討WG18(2018)の図28).

したがって、四国の沿岸地域などでも、「臨時情報」を待つまでもなく、自治体・住民・企業などの防災行動が始まるはずである。最短でも2時間後の「南海トラフ地震臨時情報(巨大地震警戒)」や、それを受けた緊急災害対策本部長からの指示や、内閣総理大臣からの国民への呼びかけなどは、まったく間が抜けている。かえって、この仕組みがあるために、指示や呼びかけを確認してからなどと逡巡する自治体職員や住民がいたりすれば、防災対応の痛恨の遅滞を生じかねない。

石橋(2017, 2018)が指摘したように、半割れに続く後発地震の発生が2時間よりも遅いという保証はどこにもなく、何分後かに続発するおそれも否定できない.1707年宝永地震が南海トラフ全域破壊型とみられているが、東西で若干の時間差があったかどうかは当時の時刻の分解能が悪いために不明なだけである。南海トラフ全域破壊型と推定される684年白鳳、887年仁和、1096年嘉保の地震(図1参照)も同様である。

要するに、東半であれ西半であれ、南海トラフ沿いでMw8級地震が発生したら、未破壊領域を埋める地震がすぐにも続発すると考えるべきである。つまり、最初の大地震発生が取りも直さず「後発巨大地震警戒」の情報(シグナル)なのだ。このことを社会に周知徹底し、基本的には、「南海トラフ地震臨時情報」体制の「半割れケース」の防

災対応計画のトリガーポイントを最初の大地震発生にすべきだろう. ただし全般に, 地域や住民の自主性をもっと尊重することが重要だと思われる(石橋, 2018).

その後の地震活動の監視・観測・解釈などの問題については石橋(2018)を参照されたい.

全世界の地震のデータにもとづいて、後発地震の発生可能性が最初の地震直後に高く、その後時間とともに急激に減少するとしているのは誤りである(石橋、2017、2018; 吉田、2017). 南海トラフの場合は、テクトニクスの特性上、後発地震が起こらなければ起こらないほど発生可能性は高まると考えるべきで、それを社会に徹底することが重要である. しかし、後発地震発生まで人間活動を過度に制約しなくてもよい. 実は首都圏はじめ全国が、地震危険度は基本的に同じであることを想起すべきである. それに関連して、後発地震警戒態勢1週間は長すぎるのではないだろうか.

4. 「南海トラフ地震臨時情報」体制の根本問題

小論では詳述しないが、例えば吉田(2017)が防災対応検討WG17の報告のケース1~4について批判的に論じたように、「一部割れケース」と「ゆっくりすべりケース」にも科学的評価の問題点があるし、「防災対応のあり方」報告が3ケースだけを取り上げたこと自体、科学的な説得力に乏しい、なお「一部割れケース」に関しては、旧「想定東海地震」に近いものがMw7.7程度で発生した場合、1944年東南海地震の震源域を含むか飛ばすかして西方の巨大地震が続発する可能性がありうるが、「南海トラフ地震臨時情報(巨大地震警戒)」は出ないようであり、不適切だろう.

このように問題が多い根本原因は、大震法の否定から始まったはずの「新たな防災対応」が、大震法体制と相似的な構造を踏襲している点にあると思われる. すなわち、地震予知が可能という前提で「警戒宣言」が出されて地震防災応急対策が一斉に始まる古い構図が、ある種の(短期的な)地震発生予測は可能という前提により、「臨時情報」にもとづく内閣総理大臣の呼びかけで国民が一斉に防災行動を起こすという図式に、スライドしただけのようにみえる.

国民の生命・財産に大きな損失を与える自然災害に対して、政府が率先して対処するのは当然だが、「最新の科学的知見を生かした」防災対応ということで、行政主導で「科学」に「無理強い」をしてしまったのではないだろうか、「防災対応検討WG18における検討に資するよう」に作られた評価基準検討部会の「とりまとめ」に、科学的に明快とはいえない議論や留保事項が多いことが、これを象徴しているように思われる.

「異常な」現象の発現から南海トラフ巨大地震 の発生に至る過程に関して,具体的な場合分けシ ナリオを描けるほどには地震科学は進んでいな い. 一方, 現実には, どんな顕著な「異常」現象が観測されても科学的評価を迫られ, 場合によっては注意報的な情報を(気象庁が)発出することもありうると思われる. したがって行政の対応策は, 地震学的判断の中味に踏み込まずに, 確度が異なる「地震情報」に対する社会の対応だけを規定するほうがよいと考える. そして, それは石橋(2017, 2018)が論じたように, 南海トラフ地震だけではなくて, 全国を対象にすべきであろう.

付. 知識普及と学術に影響する防災行政

「最新の科学的知見を生かした」として科学的 装いを強くした防災行政は、地震知識の普及や学 術にも大きな影響を与える。南海トラフ地震対策 の本質的課題ではないが、この機会に注意を喚起 しておきたい。

例えば南海トラフ特措法の第二条は,「この法 律において『南海トラフ』とは、駿河湾から遠州 灘, 熊野灘, 紀伊半島の南側の海域及び土佐湾を 経て日向灘沖までのフィリピン海プレート及び ユーラシアプレートが接する海底の溝状の地形 を形成する区域をいう」としており、南海トラフ 地震対策のあらゆる局面と文書でこの定義が貫 かれている. しかし石橋(2014, 2018)が指摘したよ うに、 溝状の地形の御前崎南東沖より北を 「駿河 トラフ」、それより西を「南海トラフ」と呼ぶの が、国内的にも国際的にも正式に合意されている 海底地形名である. それを正しく取り入れると行 政文書が煩雑になるので, 法文内で便宜的な定義 を与えたのはやむをえないのだろう. しかし, そ の影響は社会全体に及び、学術の世界にまで逆流 しかねない. 学術的定義は決して研究世界での 「言葉遊び」ではなく, 自然現象に即した基礎概 念で,自然の理解を深めていく努力の根底をなす ものである. 行政との両立はむずかしい問題だが, 研究者側も注意する必要がある.

同様のことは、1944年の地震の固有名詞である「東南海地震」が、政府の地震対策において遠州 灘西部〜熊野灘で発生する固有地震の名称のように規定された事例でもみられた(例えば、石橋、 2002b).

1854年安政の東海地震と南海地震の時間差は「32時間」であると内閣府、中央防災会議、気象庁などの多くの文書の本文や図に書かれ、地方自治体の文書などにも転載されて全国的に拡散・浸透している。しかし筆者は地震史料を精査して、石橋(1994)以来、論文でも一般向けでも、和文でも英文でも、2つの地震の発生時刻(12月23日10時近くと24日16時頃)とともに、時間差は(誤差も考慮して)「約30時間」であるとくり返し述べてきた。権威があるとされている『日本被害地震総覧』が宇佐美・他(2013)に至るまで「32時間」と記しているためにそれが採用されているのかもしれないが、同書は東海地震の発生時刻を「五ッ半過ぎ」、

南海地震の発生時刻を「申の中刻」としていて, 不定時法も考慮すれば時間差は30~31時間だか ら,「32時間」は誤記とすらいえる.

内閣府等の図には小さく「最近の調査では、30時間後との結果も報告されている」と注記しているものもあるが、防災対応検討GLと「防災対策推進基本計画」は本文に「約32時間の間隔」としか書いていない. 江戸時代の時刻精度と有効数字の常識があれば「約30時間」と書くのが当然だろう. 行政文書によって学術の古い観念が社会に喧伝されるのは残念なことである.

なお、歴史上の南海トラフ地震の震源域の時空間分布は研究途上であるが、防災行政文書に示されているのは石橋(2002a)にもとづくもので、最新知見とはいえない、参考までに最新の研究成果を図1に示しておく.

参考文献

防災対応検討WG18(正式名称: 中央防災会議 防 災対策実行会議 南海トラフ沿いの異常な現象

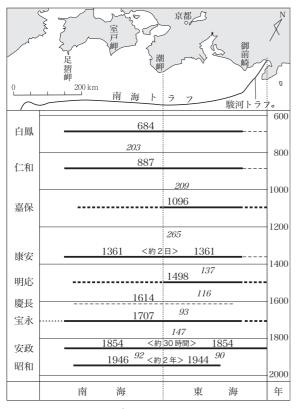


図1 歴史上の南海トラフ地震の発生履歴

ダイアグラムの棒線は、震源域のトラフ走向方向の拡がりを表す(太実線はほぼ確実、太破線は可能性が高い、細破線は可能性あり、点線は学説あり、を意味する;深さ方向は不詳).立体数字は発生年、斜体数字は発生間隔(年)、<>内は続発ケースの時間差(3回とも東海地震が先行).石橋(2014)の図2-22から南関東地震を除き、石橋(2016)によって11世紀部分を修正し、<>の時間差を加えた.

- への防災対応検討ワーキンググループ), 2018, 南海トラフ沿いの異常な現象への防災対応のあり方について(報告)平成30年12月, http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taio_wg/pdf/h301225honbun.pdf
- 中央防災会議, 2019, 南海トラフ地震防災対策推進基本計画, http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/pdf/nankaitrough keikaku.pdf
- 評価基準検討部会(正式名称:防災対応のための 南海トラフ沿いの異常な現象に関する評価基 準検討部会),2018,防災対応のための南海ト ラフ沿いの異常な現象に関する評価基準検討 部会とりまとめ(平成30年12月25日公表)本文, 別冊,http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taio_ wg/taio wg 03.html
- 石橋克彦, 1994, 大地動乱の時代―地震学者は警告する―, 岩波新書, 240 pp.
- 石橋克彦, 2002a, フィリピン海スラブ沈み込みの境界条件としての東海・南海巨大地震一史料地震学による概要—, 京都大学防災研究所研究集会13K-7報告書, 1-9.
- 石橋克彦, 2002b, 東南海・南海地震について, 自然災害科学, 21, 190-198.
- 石橋克彦, 2014, 南海トラフ巨大地震―歴史・科学・社会, 岩波書店, 262 pp.
- 石橋克彦, 2016, 1099年承徳(康和)南海地震は実在せず, 1096年嘉保(永長)地震が「南海トラフ全域破壊型」だった可能性—土佐地震記事を含む『兼仲卿記』紙背の官宣旨案の考察—,歴史地震, 31号, 81-88.
- 石橋克彦, 2017, 大震法廃止・地震関連法一本化と, 発生予測の補助手段化を, 日本地震学会モノグラフ「地震発生予測と大震法および地震防災研究」, 29-32, https://www.zisin.jp/publications/pdf/monograph5.pdf
- 石橋克彦,2018,「発生予測型」南海トラフ地震 対策の問題点―地震列島の地震対策を考える, 科学,88,359-371.
- 気象庁, 2019,「南海トラフ地震臨時情報」等の 提供開始について, https://www.jma.go.jp/jma/pr ess/1905/31a/20190531 nteq name.pdf
- 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】, 令和元年5月(一部改訂), http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/pdf/honbun_guide line2.pdf
- 宇佐美龍夫・石井寿・今村隆正・武村雅之・松浦 律子,2013,日本被害地震総覧 599-2012,東 京大学出版会,722 pp.
- 吉田明夫,2017,南海トラフ地震の予測と防災, 日本地震学会モノグラフ「地震発生予測と大震 法および地震防災研究」,52-55,https://www.z isin.jp/publications/pdf/monograph5.pdf

南海トラフ地震発生帯掘削:達成と課題

東京大学地震研究所 木下正高

30年以内の発生確率が70-80%の南海トラフ地震の準備〜発生メカニズムの解明を目指し、その固着域に到達して断層物質の獲得と原位置特性の取得、長期計測を行うための、国際科学掘削計画が、2007年からスタートした。開始から12年を経て、未だに固着域到達までの道は遠いものの、固着域浅部側のスロースリップ発生・高速滑り履歴といった新たな発見があった。これまでに得られた成果と、今後の方向性を報告する。

1. はじめに

南海トラフ沈み込み帯では、マグニチュード8 クラスの巨大地震が100-200年間隔で発生し、さらにマグニチュード9クラスの超巨大地震の発生の可能性も懸念される.

沈み込むフィリピン海プレートと西南日本弧との境界をなす断層面の一部が固着しているため、その部分ではプレート沈み込みが起こらずに、「滑り欠損」が生じ、その周囲には特に歪が集中する. 固着した部分が破壊して歪が解消される. 南海トラフ地震発生帯の例では、四国海盆と西南日本弧の間の収束速度が 4-6.5 cm/year (Heki and Miyazaki, 2001) であることと、100年に一度の巨大地震での断層滑り量が最大4m程度であることは、プレート境界が 100%固着していると仮定すると、計算上では互いに整合的である(図1).

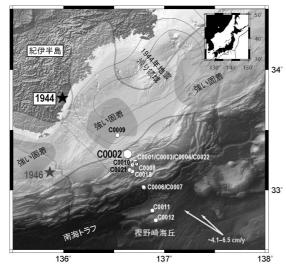


図1 紀伊半島沖南海トラフ地震発生帯周辺の地形図. コンターは 1944 年東南海地震の破壊域,現在の固着域 (グレー) は Yokota et al. (2016) による. ○は「ちきゅ う」掘削地点

1944 年の東南海地震・1946 年の南海地震の震源域とその滑り量が、当時の地震計記録や検潮記録から推定された. その後、測地学的観測から、当時の滑り域(アスペリティ)の場所で、現在滑り欠損が大きい(固着している)ことが判明した(Sagiya & Thatcher, 1999, Yokota et al., 2016 など).また、固着域の深部境界や浅部境界付近で、

低周波地震や微動・スロースリップなど、「スロー地震」と総称される地震・地殻変動が頻繁に発生していると判明した(Obara and Kato, 2016).

Hyndman ら(1995)により、固着域を規定する要因は温度・圧力が重要であり、巨大地震の滑り域の浅部が 150℃程度、深部が 350℃程度と指摘された.滑り挙動を決める要因は、基本的には応力場とレオロジーであろう.地震発生に直結するのは特に弾性的挙動であり、クーロン破壊モデルによる摩擦滑り挙動である.

「地震~クーロン破壊」ならば、クーロン破壊 の条件(せん断応力・法線応力と、摩擦係数・間 隙水圧) を実際の震源域とその周辺で調べればよ い. 地震のモーメントから, せん断応力「降下」 は推定できる. また Hasegawa et al. (2011)により, 東北地震時にせん断応力がすべて開放されたこ とが推定されたが, 応力蓄積量=応力降下量と仮 定すれば地震時の応力は推定できるかもしれな い. しかし地震が起きていない場所ではせん断応 力は知りようがない. 一方, 地震探査による反射 断面や速度構造から, 法線応力(~上載応力) は 推定できるであろう.また低速度域=高間隙率域 とし、それから高間隙水圧が推定されている (Tsuji et al., 2008). 一方 Saffer and Tobin (2011) は、掘削で直接間隙率を測定し、それから間隙水 圧を推定した.

これらの条件が、~150℃を境としてどう変化するのだろうか. Saffer and Tobin (2011)や Kimura et al. (2012)に述べられているように、沈み込む粘土鉱物(スメクタイト)が 100-150℃程度で脱水を起こし、それが新たな間隙水を生み出すというのが一つの考え方である. であれば、実際にその間隙水の化学組成・同位体比などから他の起源の水との区別ができるであろう.

問題は、これらのほとんどが「その場」でなくては分からないことである。したがって、地震の動的描像を得るためには、科学掘削により断層固着域に到達し、その構造を知り、破壊条件(摩擦係数や間隙水圧・上載圧)を求めるとともに、その場に働く歪(応力)を正確に知ることが必要である。

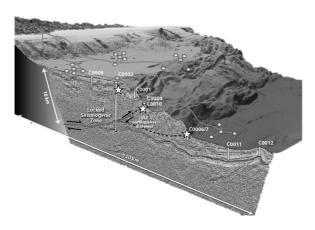


図 2 南海トラフ地震発生帯掘削地点の鳥観図. ☆は孔内観測点,海底の○群は DONET 観測網.

2. 南海トラフ地震発生帯掘削

科学掘削により、地震の発生に至る過程を解明するというテーマは、1996年に発行された「深海掘削長期計画(ODP Long Range Plan)」で提案された、その後、大水深・大深度での掘削を可能にする地球深部探査船「ちきゅう」の建造に併せて、南海トラフ地震発生帯への掘削提案群がIODP(統合深海掘削計画=当時)に提出され、2004年までに採択された。

「南海トラフ地震発生帯掘削計画 (NanTroSEIZE)」の目標は、巨大地震や津波の発生源とされるプレート境界断層や巨大分岐断層及びその上盤を掘削し、地質試料を採取・分析するとともに、掘削孔を用いた岩石物性・状態の現場計測(検層)及び地殻変動等の観測(モニタリング)を実施することである。断層の地震性滑りを決定づける物理化学条件を明らかにし、南海トラフ地震・津波発生メカニズムを解明することを目指す。

掘削提案では以下の作業仮説を構築した(括弧 内は仮説を検証する手法):

- (1)断層が固着という性質を持つかどうかは、温度圧力条件や物質の変質が支配する(様々な深度での掘削で試料を採取して分析する)
- (2)沈み込み帯の巨大断層は弱く,周囲に比べて 小さいせん断応力ですべりが生じる(摩擦実験や 現場応力計測)
- (3)巨大地震発生帯では、プレート運動によるずれは主に地震活動=摩擦滑りによって解消される(固着が100%に近い)(歪観測,層序学的考察)
- (4)断層面上の物理化学特性・状態は、地震サイクルの中で時間とともに変化している(掘削孔内の長期モニタリング、地質的考察)
- (5)プレート境界から分岐する巨大逆断層は,主 断層とともに巨大地震時に滑り,津波を発生する 原因をなす(試料採取・計測)

3. 掘削の成果

2007 年度から「ちきゅう」による IODP (国際 深海科学掘削計画) 研究航海が実施され,これまでに15 地点 (68 の孔) で掘削を行った (図 1). 掘削孔総延長は38 km 超,回収したコアの総延長は4 km を超える.参加研究者はのべ約230名,航海日数は700日を超える.本海域の付加体堆積物は,もともと砂泥互層であるため崩れやすいことに加えて,プレートの沈み込みにより歪が蓄積され,地層が破砕されていた.このため多くの地点で孔の一部が崩落し,掘削がしばしば中断した.さらに4/ットを超える黒潮の潮流下という,厳しい環境下での掘削であった.

掘削の成果の詳細は木村ほか(2018)に詳しいので、文献を含めそちらを参照されたい.ここでは浅部掘削および孔内長期計測の結果と、超深度ライザー掘削の状況を概観する.

付加体の応力場(図3)

孔内での応力場の計測は、掘削時に孔が最小水平圧縮応力方向に破壊する性質(ブレークアウト)や、孔内注水により孔壁を破壊する時の条件から推定する。その際岩石の一軸圧縮強度を計測することが必要であるが、必ずしも精度よい値が得られず、P波速度から推定されることも多い。

計測の結果,海底から数百 m までは正断層型 の応力場である一方で,深部で水平横ずれ断層場 になることが示された.

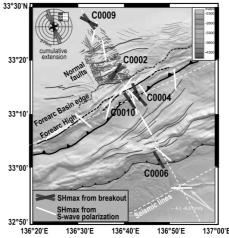


図3 掘削地点付近の広域応力場. 棒の向きが水平最大 応力の方位を示す (Kinoshita et al., 2014 によるまとめ).

水平最大主応力の向きはサイトごとにばらつく.活動的付加体内部の断層付近(C0001・C0004・C0006)では、プレート収束の方向と最大圧縮の方向がほぼ一致しているが、その陸側、固着域の上にある熊野前弧海盆(C0002)では、プレート収束の方向に伸張していることが判明した.さらに陸側のC0009では再び最大圧縮方位がプレート収束の方向にほぼ一致した.一方、トラフ海側の2地点(C0011・C0012)では、水平最大圧縮方位はプレート収束方向に直交する.

付加体先端部では現在の沈み込みの影響を直接反映すると考えられる. ただ浅部での差応力は小さい(数 MPa 以内)ので、プレート運動によるテクトニック応力以外に、地震サイクルにおける応力変動や、地すべりなどにも影響されて変動する可能性がある.

浅部断層の特性

巨大分岐断層帯が C0004 の海底下 256~310 m から, プレート境界断層帯は C0007 の海底下 398.5~446 m から採取された. 前者には厚さ 2 cm, 後者には厚さ 2 mmの断層ガウジが確認され(図 4), ビトリナイト反射率が高いこと(Sakaguchi et al., 2011)や, イライトの増加(Yamaguchi et al., 2011)が観察された. どちらも断層運動に伴う摩擦発熱の痕跡と考えられている.

断層および周辺の摩擦特性は, Ikari & Saffer (2011), Ujiie & Tsutsumi (2010) 他多くの報告がある. 滑り速度が~1 cm/s 以下では比較的大きな定常摩擦係数を持つが, それを超えると滑り速度の増加に伴い急激に摩擦係数が減少するという, 不安定滑りの挙動を示し, 地震時滑り速度 (~1m/s)では摩擦係数は 0.1 以下である.

水理特性は、Ikari et al. (2009)や Tanikawa et al. (2012)により計測された。摩擦実験と併せて、その前後での浸透率変化を測定した結果、試料が含水か無水かにより、実験後の浸透率が低下・増大と逆の傾向を示す場合が示された。断層活動時の摩擦発熱とそれに起因する脱水作用や熱圧化など、複雑な過程が関与すると推定している。





図4 .C0004(左) お よび C0007(右)から 得られた断層ガウジ (Ujiie & Kimura, 2014).

浅部スロースリップの発見

紀伊半島沖では、これまでに3地点に孔内観測所が設置された(図2 \diamondsuit)。このうち陸側の2点の間隙水圧データを比較することにより、Wallace et al. (2016)は、2016年4月1日、紀伊半島南東沖約50kmの海底下約10kmで発生したMw6.0の地震時から2日間、2kPa 上昇が続いたことから、本震に続いて周辺でスロースリップが起きたと推定した。Araki et al. (2017)は、固着域浅部でスロースリップが頻繁に発生している

ことを突き止めた. また DONET 観測網により, スロースリップの周辺で低周波微動や超低周波 地震が発生することも解明された (Nakano et al., 2018). 地震の空白域だと思われていた固着域も, その周辺では活動があるるようだ.

ライザー掘削

固着域の浅部側縁への超深度ライザー掘削 (C0002) は 2010 年に開始され,2012・2013 年に段階的に海底下 3,058.5m まで掘削を進めた.2018 年の第 358 次研究航海では,海底下 5,200m 付近のプレート境界断層に向かって,同じ掘削孔を掘り進め,断層の物性データ取得とコア試料採取を行う予定であった.その途中,海底下 4,000m 以深に想定される高速度層は,巨大地震を引き起こす歪エネルギーの一部を蓄積している領域と考えられ,そこの岩石組成や物性・応力状態を知ることも重要であった.

C0002 地点は、褶曲・断層や劈開等の発達する複雑な地質構造場にあり、掘削にはかなりの困難が予想された. 国内外の研究者や技術者と議論を重ね、最善と考える掘削アプローチを採用したが、プレート境界断層よりもかなり浅い深度(海底下3,262.5m)で掘削を終了せざるを得なかった. しかしながら、掘削同時検層による地層物性連続データ取得や、連続カッティングス(回収された堀層)の採取に成功した.

C0002 地点で得られたデータの一例を図5に示す (Tobin et al., 2019). 900m より下の過去の付加体で粘土含有率が増加していることや,間隙率が単調に減少していることが分かる. 特筆すべきなのは,これらのデータがコアだけでなくカッティングスからも得られていることである. 回収されたカッティングスは掘削泥水が混じっていたり,破砕されているため,丁寧に洗い,ふるいにかける作業が繰り返された. その結果,図5に示すような良質のデータが得られた.

3. おわりに

掘削開始から足かけ 9 年(実質 4 年)にわたり、超深度ライザー掘削により巨大地震固着域への到達を目指したが、永年の圧縮変形による地層は手ごわく、未だ断層固着域からのサンプルリターンは実現していない.

それでも,科学掘削としては世界最深の掘削深度記録を更新し,海底下3,262.5mまで到達した.また,海洋科学掘削としては世界最深の海底下深度である2,836.5 mから2,848.5 mの区間で計約2.5 mのコア試料を採取した.

これらのデータ及び試料を用いた研究が鋭意 進行中である. 応力場の推定や、Slip tendencyの 見積もり (Kinoshita et al., 2019) など、地震発生 の場の理解は、今後確実に進むであろう. さらに、 孔内長期観測所が3台稼働中である. DONET に 接続され,リアルタイムで地震・地殻変動・水圧・ 温度等のデータが蓄積されている.長期観測デー タにより,固着域の縁の挙動から固着域本体の性 質の理解が格段に進むと期待している.

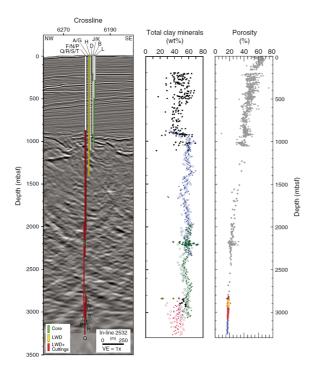


図 5 (左)C0002 地点付近の反射断面と掘削孔. (右)コア・カッティングスから得られた粘土含有率および間隙率 (Tobin et al., 2019 を改変).

参考文献

Araki, E., et al., 2017, Recurring and triggered slow-slip events near the trench at the Nankai Trough subduction megathrust, Science, 356, 1157–1160. Hasegawa, A., Yoshida, K., Okada, T., 2011, Nearly complete stress drop in the 2011 Mw 9.0 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Earth Planets

Space, 63, 703–707.

Heki, K., & Miyazaki, S. (2001). Plate convergence and long-term crustal deformation in central Japan. Geophysical Research Letters, 28, 2313–2316.

Hyndman, R., Wang, K., & Yamano, M., 1995, Thermal constraints on the seismogenic portion of the southwestern Japan subduction thrust, J. Geophys. Res., 100, 15373-15392.

Ikari, M. J., Saffer, D. M. and Marone, C., 2009, Frictional and hydrologic properties of a major splay fault system, Nankai subduction zone. Geophys. Res. Lett., 36, L20313.

Ikari, M. J. and Saffer, D. M., 2011, Comparison of frictional strength and velocity dependence between fault zones in the Nankai accretionary complex. Geochem. Geophys. Geosyst., 12, Q0AD11.

Kimura, G., et al., 2012, Runaway slip to the trench due to rupture of highly pressurized megathrust beneath the middle trench slope: The tsunamigenesis of the 2011 Tohoku earthquake off the east coast of northern Japan, Earth Planet. Sci. Lett., 339–340, 32-45

木村学・木下正高ほか,2018,南海トラフ地震発 生帯掘削がもたらした沈み込み帯の新しい描像, 地質学雜誌, 124,47-65.

Kinoshita, M., G. Kimura, and S. Saito, 2014, Seismogenic Processes revealed through The Nankai Trough Seismogenic Zone Experiments: Core, log, geophysics and observatory measurements, In Stein et al. (eds) Developments in Marine Geology 7, Elsevier, 641-670.

Kinoshita, M., et al., 2019, Geometrical dependence on the stress and slip tendency acting on the subduction megathrust of the Nankai seismogenic zone off Kumano, Progress in Earth and Planetary Science, 6:7.

Nakano M., et al., 2018, Shallow very-low-frequency earthquakes accompany slow slip events in the Nankai subduction zone, Nature Comm., 9, 984.

Obara, K., and A. Kato, 2016, Connecting slow earthquakes to huge earthquakes, Science 353, 253-257.

Sagiya, T. & Thatcher, 1999, W. Coseismic slip resolution along a plate boundary megathrust: the Nankai Trough, southwest Japan. J. Geophys. Res. 104 (B1), 1111–1129.

Saffer, D., and Tobin, H., 2011, Hydrogeology and mechanics of subduction zone forearcs: Fluid flow and pore pressure, Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 2011.39, 157-186.

Sakaguchi, A., et al., 2011, Seismic slip propagation to the updip end of plate boundary subduction interface faults: vitrinite reflectance geothermometry on Integrated Ocean Drilling Program NanTro SEIZE cores. Geology, 39, 395–398.

cores, Geology, 39, 395–398.

Tanikawa, W., et al., 2012, Velocity dependence of shear-induced permeability associated with frictional behavior in fault zones of the Nankai subduction zone. J. Geophys. Res., 117, B05405.

Tobin, H., et al., 2019, Expedition 358 Preliminary

Report: NanTroSEIZE Plate Boundary Deep Riser 4: Nankai Seismogenic/Slow Slip Megathrust. International Ocean Discovery Program. https://doi.org/10.14379/iodp.pr.358.2019.

Tsuji, T., et al., 2008, Effective stress and pore pressure in the Nankai accretionary prism off the Muroto Peninsula, southwestern Japan, J. Geophys. Res., 113, B11401.

Ujiie, K. and Kimura, G., 2014, Earthquake faulting in subduction zones: Insights from fault rocks in accretionary prisms, Prog. Earth Planet. Sci., 1, 7.

Ujiie, K. and Tsutsumi, A., 2010, High-velocity frictional properties of clay-rich fault gouge in a megasplay fault zone, Nankai subduction zone. Geophys. Res. Lett., 37, L24310.

Wallace, L. M., et al., 2016, Near-field observations of an offshore Mw 6.0 earthquake from an integrated seafloor and subseafloor monitoring network at the Nankai Trough, southwest Japan, J. Geophys. Res., 121, 8338–8351,

Yamaguchi, A., et al., 2011, Progressive illitization in fault gouge caused by seismic slip propagation along a megasplay fault in the Nankai Trough. Geology, 39, 995–998.

Yokota, Y., Ishikawa, T., Watanabe, S. et al., 2016, Seafloor geodetic constraints on interplate coupling of the Nankai Trough megathrust zone. Nature 534, 374–377.

本シンポジウム開催に関しての反省点

東京大学名誉教授 ロバート・ゲラー

本シンポジウムの開催について、以下の反省点を明らかにする。(1)シンポジウム題名には「南海トラフ地震」が含まれているが、これは確立された科学的根拠がない俗語なので、日本地震学会が使用すべき表現ではない。(2)本シンポジウムは基本的に政府見解を一般人々に伝えるものであったが、地震学分野の特殊事情を考えて本来日本地震学会のアウトリーチ活動は科学的知識を政府に伝えることに優先をおくべきなのではないかと考えられる。(3)本シンポジウムのプログラム編成は偏っており、「南海トラフ地震」という概念の科学的根拠の有無及び「臨時情報」発信制度の適切さを主要課題とした講演も行うべきであった。今後日本地震学会がこれらの反省点を活かすべきである。

1. はじめに

2019年9月15日(日)に日本地震学会は「南海トラフ地震臨時情報:科学的データや知見の活用」と題したシンポジウムを京都で開催した.シンポジウム開催について,以下,反省点を明らかにする.

本シンポジウムの公開情報は地震学会のホー ムページ (https://www.zisin.jp/event/list07.html) 及 び秋季大会のお知らせ(第4報)(大会・企画委 員会、京都大会 LOC, 2019) に掲載されており, 以 下の議論は2020年2月24日現在の情報に基づく. 本シンポジウムの企画は「地震学を社会に伝える 連絡会議」によるが、実際に社会に伝えている情 報は極めて貧弱である. 例えばシンポジウム趣旨 は1文(73文字)だけ、シンポジウム開催報告 記事(干場,2019)へのアクセスは実質的に会員 に限定される. (厳密に言えば、誰でも https://www.zisin.jp/publications/news.html を閲覧 すればニュースレターのコンテンツをアクセス するための必要なユーザーID とパスワードを把 握することができるが、本シンポジウムのホーム ページを閲覧する非会員がこれを必ずしも分か るとは限らない.)

2.「南海トラフ地震」とは?

本シンポジウムの題名には「南海トラフ地震」 という表現が含まれている.この表現の使用が適 切かどうかを考察するために、まずその由来と意 味を確認することから始めよう.

地震調査研究推進本部(2019)のホームページによると、「南海トラフ全体を1つの領域として考え、この領域では大局的に $100\sim200$ 年で繰り返し地震が起きていると仮定して、地震発生の可能性を評価しました。」としており、「南海トラフ地震」規模は「 $M8\sim M9$ クラス」であり、その発生確率は「30年以内に、 $70%\sim80\%$ 」とされている。

「南海トラフ地震」をグーグルで検索した結果, ヒット数は約545万件(2020年2月20日現在) で,社会において一人歩きしたと言えば過言では ない.一方,上述した発生確率(30年以内に, 70%~80%) を裏付ける科学的根拠は皆無にほぼ等しいと言える.

基本的に政府の発生確率見積もりは周期説的な予測モデルに基づいているが,周期説はもう否定されたのである(Kagan et al., 2012; Mulargia et al., 2017). また,国内外に周期説に基づいて作成されたハザードマップと実際に発生した地震が不一致した事例は少なくない(Stein et al., 2012).

上述を踏まえて、「南海トラフ地震」という表現の科学的根拠は乏しすぎて、この表現をシンポジウム題名に使用することは一般の人々に日本地震学会は政府と同様にこれは確実に決まった仕組みで発生し、しかもこれからの30年での発生はほぼ確実であるという大いに間違った印象を与えるであろう。言うまでもなく、日本地震学会にはこの言動は相応しくない。

3. 「臨時情報」発信制度について

2 年ぐらい前に政府は東海地震の直前予知を 実質的に断念して、その代わりに「南海トラフ地 震臨時情報」を発信する制度をスタートした(気 象庁、2019). ゲラー(2017)が指摘したよう、この ような制度はこれまで国内外には全くなかった ので、成功例はない. にもかかわらず、この制度 を実務的防災に使用することは極めて危険な賭 けである. 失敗(空振りでも見逃しでも)は社会 に多大な迷惑を与える. また、この制度の存在は 一般の人々に勘違いを与え、実現可能な地道な防 災努力を怠ってしまうことを誘導する恐れもあ

政府は実績がない臨時情報発信制度の試験的 運用を省略していきなり実用の段階に入ったことは無責任であったと言わざるを得ない.少なくとも,現時点に日本地震学会はこれを肯定する必要はない.(本来否定すべきであると考えるが,多くの役員の立場を考えると,そこまでの言動は 困難であろう.)

しかしながら、本シンポジウムの事前案内に 「南海トラフ地震臨時情報の発表および社会の 防災対応の一連の流れのなかで、将来的に地震学 が防災・減災のために一層の貢献していくための 可能性を議論する」というくだりがあった. 日本 地震学会はここまで肯定的言動をすべきではな いと考える.

4. 政府向きのアウトリーチの必要性

2011 年の特別シンポジウム(秋季大会直後)のモノグラフに蓬田(2012)は鋭く日本の地震学研究界の「二重構造問題」の存在を指摘した.筆者がこれを要約すると,これは政府機関及び審議会が不都合の研究成果を無視して,政府方針を支持しない研究者を諮問委員会から外すことができる.本来,日本地震学会のアウトリーチは政府が知るべきことをテーマとすべきである.メディアそして一般の人々も承知することになれば良い副産物となる.

5. 本シンポジウムでの議論について

干場(2019)は本シンポジウムの講演、質疑、及びパネルディスカッションをまとめて報告している。残念ながら「南海トラフ地震」そのもの(すなわち、政府が今後の30年間で発生確率は70%~80%とするM9級巨大地震)に関しての科学的観点からの検証は皆無であり、根本的な課題に向き合うことなく、表面的な議論に終始した。一方、「臨時情報」制度については懐疑的な意見(とくに、臨時情報発表の場合の対応の困難さに関して)があった。ただし、政府が本気で臨時情報を公表する意図があるかどうかについての議論はなされなかったようである。

政府の意図に関してゲラー(2018, 45 頁)は以下のよう指摘した:「おそらく、政府は注意報を発表しないつもりだろう. 判定会に何らかの建前上の役割を与えないと予算措置を延命できないため、適当にでっちあげたとしか思えない.」

6. 結論

日本地震学会の会員は、様々な立場と学問知識がある.しかしながら、学会としては、物理学を基礎としながら地震学の科学的知見に基づいて活動を行うべきである.本シンポジウムの題名にある「南海トラフ地震」には、科学的根拠は皆無である.こういった俗語的な表現の使用は大変遺憾であるとともに、社会に深刻な誤解を招く.学会は決してこのような間違いをすべきではない.今こそ反省すべきである.

本シンポジウムが地震臨時情報公表制度を取り上げたこと自体,特段問題はないが,本来,学会は,このようなマイナーな課題ではなく,政府の誤った「南海トラフ地震」予測の問題点について,科学的な知見から正々堂々議論すべきである.また,政府見解を無批判で取り扱う学会の姿勢は必ずしも適切ではないと考える.

アウトリーチは、通常、学会から一般市民への

情報伝達である.しかし,蓬田(2012)が指摘したように,政府当局は閉鎖的であり,最新の研究成果を必ずしも把握していない.したがって,学会は,「地震学を政府に伝える連絡会議」もアウトリーチの一環として設置することを提案する.

参考文献

グラー,ロバート,2017.大震法と関連組織を即時に廃止すべき,日本地震学会モノグラフ第5号「地震発生予測と大震法および地震防災研究」,33-34

ゲラー,ロバート,2018.「ゲラーさん,ニッポンに物申す」,東京堂出版.

干場充之, 2019.シンポジウム「南海トラフ地震 臨時情報:科学的データや知見の活用」開催報告, 地震(ニュースレター部),72, NL4, NL-4-31 – NL-4-33

Kagan, Y.Y., Jackson, D.D., Geller, R.J., 2012. Characteristic earthquake model, 1884-2011, RIP. Seismological Research Letters, 83, 951-953.

気象庁, 2019. 南海トラフ地震に関連する情報の種類と発表条件, 2019 年 12 月 13 日閲覧, https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/nteq/info_criterion.html.

Mulargia, F., Stark, P.B., Geller, R.J., 2017. Why is probabilistic seismic hazard analysis (PSHA) still used?, Physics of the Earth and Planetary Interiors, 264, 63–75.

Stein, S., Geller, R.J., Liu, M., 2012. Why earthquake hazard maps often fail and what to do about it. Tectonophysics, 562-563, 1-25.

大会・企画委員会, 京都大会 LOC, 2019, 日本地 震学会 2019 年度秋季大会のお知らせ(第 4 報), 地震(ニュースレター部), 72, NL3, NL-3-4 – NL-3-10.

蓬田清,2012. 日本の地震学の二重構造における 学術団体としての責任とは?,日本地震学会モノ グラフ第1号「地震学の今を問う」,68-72.

地震調査研究推進本部, 2019, 南海トラフで発生 する地震, 2019年12月13日閲覧,

https://www.jishin.go.jp/regional_seismicity/rs_kaiko/k nankai/

千島海溝南部での臨時情報の可能性を考える

北海道大学大学院理学研究院 高橋浩晃

南海トラフでは、当面の対応として、気象庁による臨時情報や関連解説情報の発表が始まっている. 千島海溝南部では、地震本部が M8.8 程度以上の超巨大地震の発生が切迫していると評価している. しかし、南海トラフのように、地殻活動に関する情報が発表される体制になっていない. ひずみ計を 除き、地震や GNSS の基盤的観測網は全国を均一にカバーしており、北海道や他の地域でも、南海ト ラフに準ずる情報の発表は、技術的には可能と考える. 1839 年以降、千島海溝南部では、時空間的に 近接して M8 クラスの地震が続発したのは 1 例だけである. 一方、前震的な活動や津波地震的な余震が知られている. 千島海溝南部をはじめ、技術的に可能な地域では、地震防災体系の中で、過去の事 例や予見的な事項を含めた情報を社会に迅速に伝えるしくみを検討することを提案する.

1. はじめに

千島海溝南部では、津波堆積物の調査から、過去約 6500 年間の古津波履歴が明らかにされた(たとえば、平川他、2000、七山他、2000). 個別の発生間隔は約 100-800 年で、平均発生間隔は340-380 年と推定されている(地震本部、2017). 最新の津波は、テフラ層序から約 400 年前と考えられている。これらの古津波は、波高が 20m に達していたこと、海岸から内陸 3km 以上まで大規模に浸水したことが明らかにされている(例えば、平川他、2000、2005; Nanayama et al., 2003). 17 世紀の最新津波の津波堆積物から、海溝軸付近の 25m の大すべり域を含む Mw8.8 の断層モデルが提案されている(Ioki and Tanioka, 2016).

地震本部 (2017) は、これらの津波堆積物データから、千島海溝南部で M8.8 程度以上の超巨大地震の今後 30 年以内発生確率が 7~40%に及び (BPT 分布を仮定)、発生が切迫していると評価した. 北海道庁では、津波堆積物分布を説明可能な、最大クラスの津波浸水予測図を 2012 年度に公表している. 釧路市をはじめ、北海道の太平洋沿岸部では大規模な浸水が予測され、甚大な被害が予見されている.

1839 年以降に発生した地震を用いた M8 クラスの 30 年以内発生確率は、十勝沖は M8.0~8.6 程度が 9%、根室沖は M7.8~8.5 程度が 80%程度 (BPT 分布を仮定)、色丹島沖及び択捉島沖は M7.7~8.5程度が 60%程度 (ポアソン過程を仮定) と評価されている (2019 年 2 月 26 日現在). 根室沖では、特に高い確率評価がなされている.

2. 臨時情報の推進基本計画での位置づけ

地震防災対策推進地域等へ指定された場合,基本計画を策定し、それに沿って対策が進められる。 南海トラフ地震対策では、中央防災会議で令和元年(2019年)5月に変更された「南海トラフ地震防災対策推進基本計画」の中で、「時間差発生等への対応」が挙げられ、臨時情報の位置づけがされている。基本計画中の「意義に関する事項」に、「南海トラフ地震発生の可能性が平常時と比 べて相対的に高まっていると評価された場合」が記されている.「基本的方針」の中では、「時間差発生等への対応」として「後発地震」対策が示され、「南海トラフ地震臨時情報」と、それに対する災害応急対策の実施が記されている.

千島海溝南部では、「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震防災対策推進基本計画」が平成18年(2006年)3月に策定された。従前から東海地域のような監視体制がないこと、また、東日本大震災前に策定されたこともあり、南海トラフの基本計画のような臨時情報等に相当する記述はない。国では現在、「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル検討会」を設置し、想定すべき最大クラスの地震・津波断層モデルの設定方針等の見直しを進めている(2019年12月13日現在).

3. 千島海溝南部の基盤的観測網

地震本部では、「基盤的調査観測として推進するもの」を「全国に偏りなく実施すべき観測や一定の基準で全国的に実施すべき調査」とし、(1)陸域における地震観測、(2)陸域における地震動(強震)観測、(3)陸域における GNSS 連続観測による地殻変動観測、(4)地域評価に資する活断層調査、(5)ケーブル式海底地震・津波計による地震・津波観測、(6)浅海域及び沿岸陸域の地形調査を行っている(地震本部、2014).

(1)(2)(3)は、全国的な整備が完了し業務運用されている。(4)は調査が続けられている。(5)は、千島海溝・日本海溝では S-net の整備が完了している。「南海トラフ臨時情報(調査中)」の発表基準の1つに、ひずみ計データの有意な変化があるが、北海道や東北地方には業務的な利用に供されるひずみ計は整備されていない。

4. 千島海溝南部のこれまでの地震活動

千島海溝南部での太平洋プレートの沈み込み 速度は約 9cm/yr である. 地震本部 (2017) によ る, M8.8 程度以上の超巨大地震の平均的な発生 間隔 (340-380 年) では, 約 31~34m の相対変位 量となる. 17 世紀の超巨大津波時の最大すべり 量は25mであった (Ioki and Tanioka, 2016).

南海トラフと違い,北海道では歴史記録が限ら れる. 地震本部 (2017) では, 1839 年以降の巨 大地震は見落としはないとしている. これ以前は、 1611 年の慶長三陸沖とされている地震, 1780 年 のウルップ島付近の地震が知られている.

地震のタイプとして, 沈み込むプレートの境界 面の M8 クラスの巨大地震(例:2003 年十勝沖 地震 (Mj8.0)), 沈み込んだプレート内部の地震 (例:1993 年釧路沖地震(Mi7.8)) がある. 海 溝軸近くでは、津波地震(例:1975年色丹島沖、 Mj7.0, Mt7.9) (Ioki and Tanioka, 2017) も発生して いる. 余震が津波地震で、本震よりも大きな津波 であった例(1963年北海道東方沖地震(Mj8.1) の7日後の余震(Mi6.7, Mt7.9)) もある.

19 世紀以降に発生した M8 クラスの地震で, 時空間的に隣接して続発した例は,1893年6月4 日の色丹島沖 (M7.7) の 9 か月後に発生した 1894 年3月22日の根室沖 (M8.3) の1例だけのよう である. (ウルップ島沖 1918 年 9 月 8 日 M8.0 と 同年 11 月 8 日 M7.7 も可能性がある).

一方, 前震的な活動の報告が多くある. 宇津 (2011) では、1894 年根室沖 (M7.9)、1952 年 十勝沖 (M8.2), 1958 年択捉島沖 (M8.1), 1963 年択捉島沖 (M8.1), 1969 年色丹島沖 (M7.8), 1994 年北海道東方沖 (M8.1) で前震有りとして いる. 気象庁 (2007) では、択捉島沖の 1978 年 (M7.3)と1995年(M7.3), ウルップ島沖の1991 年 (M6.8), シムシル島沖の 2006 年 (M7.9) で 前震的な活動を報告している.

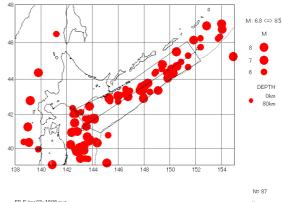
地震活動度の時空間変化の調査では、2008 年 以降の7年間の静穏化とその回復(松浦,2019), 1994 年北海道東方沖地震 (Mj8.2) · 2003 年十勝 沖地震(Mj8.0)(Katsumata, 2017)の前の静穏化 などが報告されている. なお, 千島海溝南部では, 2018年7月以降, M6.8を超える地震が発生して いない静かな状態が続いている (図).

5. 南海トラフ地震臨時情報発表基準と同様な地 殻活動が千島海溝南部で検知される可能性

南海トラフでは、気象庁が発表する臨時情報に 丸括弧「(○○○)」で付記するキーワードで, 発 表条件との紐づけを行っている(気象庁web;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/svd/eqev/data/nteq/info_c riterion.html).

「(調査中)」発表条件の1つとして,「監視領 域内で Mj6.8 以上の地震が発生」,「(巨大地震警 戒)」は「想定震源域内のプレート境界で Mw8.0 以上の地震が発生」、「(巨大地震注意)」は「監視 領域内で Mw7.0 以上の地震が発生」(深い地震は 除く)となっている.これらは、千島海溝南部に おいても,基盤的地震観測網で検知可能な現象で





// SEIS-PC //

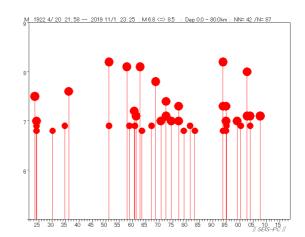


図 気象庁震源カタログによる 1922 年以降 2019 年 10 月までの M6.8 以上 60km 以浅の震央分布 (上) と千島海溝南部 (上図ポリゴン内) の MT 図 (下). 千島海溝南部では 2008 年 9 月 11 日十 勝沖の Mj7.1 以降, M6.8 以上がない状態が続い ている. SEIS-PC (中村・石川, 2005) で作図.

ある.

「(調査中)」 発表条件の1つである「プレート 境界の固着状況の変化を示す可能性のある現象」、 「(巨大地震注意)」の「プレート境界面において、 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」は、北海道でも基盤的観測網(GEONET) で検知される可能性がある.

6. 情報発表に必要となる制度と体制

情報を社会に発表し、地震防災制度の中で利活 用するには,地震防災対策推進基本計画の中で位 置づけ、対策と紐づけることが前提となる.

前述のように、国では、2015年から、日本海 溝・千島海溝沿いの海溝型地震について, 最大ク ラスの地震・津波を想定した対策の見直しを進め ている. 基本計画についても, 新たな想定に基づ いた修正や変更が行われる可能性がある.

南海トラフでは,基本計画の中で気象庁が情報 発表を行う体制となっている.一方,地震本部の 地震調査委員会は、被害地震が発生した場合や顕 著な地殻活動が発生した場合等には,臨時会議を 開催して地震活動の評価を行っている.しかし, 南海トラフの基本計画中には,地震調査委員会の 評価についての記述はない.

千島海溝南部では,前震的な活動や異常地殻活動の発現時間は不明であることから,情報発表は 即応可能な体制での運用が望ましいと考える.

7. 北海道胆振東部地震での気象庁報道発表に見る先行的な事例

2018年9月6日に発生した平成30年北海道胆振東部地震(Mj6.7)では、震源域の近くに、地震本部によってM7.9程度以上の地震規模が評価されていた石狩低地東縁断層帯が存在していた。南海トラフ地震臨時情報発表基準と比較すれば、今回のケースは、監視領域あるいは想定震源域で、ある程度の規模以上の地震が発生した場合に相当すると考えることもできる.

気象庁は、地震発生約2時間半後の5時40分に1回目の報道発表を行っている。その中で、「地震発生後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。地震発生後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。」と、従前同様に続発する地震への警戒を促している。

それに加えて、報道発表資料の「参考資料」には、「周辺の活断層」を示し、「過去の例」として、 隣接する活断層が活動した/しなかった事例を 知らせ、更に、念を押すように、「注意点」として「今回の地震の周辺に存在する活断層等で大き な地震が発生する可能性は否定できない」「周辺 に存在する活断層で大きな地震が発生した場合 には、周辺で震度6強以上の強い揺れになると予 想」と、強く後発地震への警戒を呼び掛けている。 周辺の活断層(この場合には石狩低地東縁断層帯) で、大きな地震(主部 Mw7.2 および南部 Mw7.1) が発生した場合の予測震度分布図まで掲載した。

8. 千島海溝南部での情報試案

気象庁は、北海道胆振東部地震の例のように、 地震発生後に想定される現象を社会に伝える取 り組みを既に行っている.

千島海溝南部では、2008 年 9 月に十勝沖で発生した M7.1 以降、M6.8 以上の地震が 10 年以上発生していない静かな状態が続いている(図). 今後、ある規模以上の地震が発生した場合、気象庁から報道発表が行われると考えられる.

千島海溝南部において、例えば M7 以上の地震 が発生し震度 5 弱以上が観測された場合、北海道 胆振東部地震時と同様な情報を入れた形での報 道発表を期待する. 具体的には、地震本部での評価を参考に、同震源域でのより大きな地震 (M8 クラス) の発生可能性や、隣接領域の大きな地震への注意、更に規模の大きな超巨大地震 (M8.8

程度以上) への警戒を促すような内容が考えられ

M8 クラスの地震が発生した場合には、従前からの規模の大きな余震への注意に加え、隣接地域大地震・超巨大地震・余震津波地震への警戒等を情報に入れることが考えられる. なお、余震が津波地震であった場合でも、S-net で早期検知され警報が発表されることが期待される.

これらの情報は「参考情報」としてではなく、報道発表資料のトップに近いページに掲載してほしい. 発災対応時の自治体では、資料の隅々まで目を通すことは困難である場合が多い.

9. 期待される更なる取り組み

北海道胆振東部地震での気象庁報道発表の例を示したように、関係機関においては、南海トラフ以外の地域においても、報道発表などの情報の中に、様々な関連情報を盛り込む取り組みが進んでいる. 更なる情報の充実を期待したい. 同時に、地元自治体や報道機関等の関係機関に、情報の「意味」を理解してもらえるような取り組みを進めることも重要と考える.

ある程度の規模の地震が発生した場合には、それがトリガーとなり、気象庁より関連情報を含めた発表が行われる可能性があることを示した.一方、顕著な地震が発生していない状態での情報発表については、更なる検討が必要である. 例えば、国土地理院の GEONET が北海道太平洋沿岸でゆっくりすべりのような異常を検知した場合、現在の体系では情報発表が困難である.

松浦(2019)が報告したような、地震活動度の 静穏化~回復などの長期的な地殻活動や、西川・ 西村(2019)が行っている地震活動異常性モニタ リングについては、地震予知連絡会や学会で不定 期に報告や検討が行われている.これらの情報を 制度として社会に発信し、利活用するための評価 体制や、情報の取り扱いについても、検討が行わ れることを期待する.

将来的には、地殻活動の実況中継的な情報も盛り込める可能性もある。国土地理院では、南海トラフを対象に、プレート間固着状態変化の常時監視を目指した研究開発が予定されている(国土地理院、2019)。千島海溝南部でも、低解像度になるが、地震時すべりや余効すべりのリアルタイム監視は技術的に可能である。しかし、リアルタイム観測データが、社会で利活用可能な災害情報になり得るのかは、更なる検討が必要である。情報量が増えれば被害が減るといった、単純な線形関係ではないことにも注意が必要である。

情報を制度として防災に生かすためには,災害法制上での位置づけが必要である. 南海トラフでは,多様な発生形態に備えた「防災対応検討ガイドライン」が示され,住民・企業の防災対応の検討が先進的に始まった. 今後,様々な課題が明ら

かになることが予見される. その中で,情報の現 実的な利用可能性や,社会的ニーズ,地震学で提 供可能な情報とその限界についても,更なる検討 が進むことを期待する.

10. おわりに

千島海溝南部での津波堆積物のデータは、超巨大地震・津波発生の切迫性を示している. 釧路市では、大規模な浸水が予測され、甚大な被害となることが予見される. しかし、国による海底地殻変動観測が実施されていないことが象徴しているように、地震調査研究を含めた防災対策は、南海トラフに比べ進んでいない. 情報発表の検討もこれまでは行われていない.

先進的に南海トラフで試みられている取り組みをヒントにして,他の地域においても,基盤的観測網などで得られる情報をどう生かしていくのかを検討していくことが望ましい.地震学の知見は,それを定量的に下支えする重要な役割を果たすと考えている.

情報を生かし、また、生かされる情報の研究開発を推進するためには、データの流通や公開を一層進める必要がある. 気象庁が取り組んでいる火山防災協議会への web 表示リアルタイムデータ提供や、噴火警戒レベルの判定基準の公開は、社会との情報共有として参考となる事例である.

学術的には,千島海溝南部は,超巨大地震の準備過程から発生までを高密度な観測網で観測できる場所である.多くの地震研究者が,この地域に注目し,更なる研究を行って頂くことを期待する.

参考文献

地震調査研究推進本部,2014,地震に関する総合的な調査観測計画~東日本大震災を踏まえて~. 地震調査研究推進本部,2017,千島海溝沿いの地震活動の長期評価(第三版).

気象庁, 2007, 2006 年 11 月 15 日千島列島の地震について, 地震予知連絡会報, 77, 437-449. 平川一臣・中村有吾・越智智雄, 2000, 十勝地方太平洋岸の巨大古津波, 月刊地球号外, 31, 92-98. 平川一臣・中村有吾・西村裕一, 2005, 北海道太平洋沿岸の完新世巨大津波: 2003 十勝沖地震津波との比較を含めて, 月刊地球号外, 49, 173-180. loki, K., and Y. Tanioka, 2017, Rupture Process of the 1969 and 1975 Kurile Earthquakes Estimated from Tsunami Waveform Analyses, PAGEOPH, 173, 4179-4178.

Ioki, K. and Y. Tanioka, Y, 2016, Re-estimated fault model of the 17th century great earthquake off Hokkaido using tsunami deposit data, Earth and Planetary Science, Letters, **433**, 133-138.

Katsumata K., 2017, Long-Term Seismic Quiescences and Great Earthquakes in and Around the Japan Subduction Zone Between 1975 and 2012,

PAGEOPH, 174, 2427-2442.

国土地理院, 2019, 国土地理院研究開発基本計画, 24pp.

松浦律子,2019,北海道東方沖の相対的地震活動 度の静穏化と現状,地震予知連絡会会報,101, 475-483.

中村浩二・石川有三,2005,卓上の地震活動解析 SEIS-PC for Windows のこの8年,日本地震学会 2005 年秋季大会講演予稿集 P153.

七山太・佐竹健治・下川浩一・古川竜太・重野聖之,2000,イベント堆積物を用いた千島海溝沿岸域の津波の遡上規模と再来間隔の検討,平成11年度活断層・古地震研究調査概要報告書,地質調査所速報,EQ/00/2,1-17.

Nanayama, F., K. Satake, R. Furukawa, K. Shimokawa, B. F. Atwater, K. Shigeno and S. Yamaki, 2003, Unusually large earthquakes inferred from tsunami deposits along the Kuril trench, Nature, **424**, 660-663.

西川友章・西村卓也, 2019, ETAS モデルを用いた 日本列島周辺の地震活動異常性モニタリング, 日本地震学会 2019 年度秋季大会予稿集, S09P-10. 宇津徳治, 2011, 地震活動総説, 876pp.

南海トラフの地震予測に必要な海底活断層のデータ

広島大学 中田 高・後藤秀昭

来るべき南海トラフ地震については、中央防災会議によって「あらゆる可能性を考慮した最大クラスの巨大な地震・津波」を想定した断層モデルが提起され、それ以降、詳細な地震モデルに関する議論は不活発と思われる. 筆者らは、南海トラフ沿いの詳細な海底地形データをもとに作成した立体画像を解析し、広域的な海底活断層図を作成した. 歴史地震との対応に基づけば、プレート境界においても活断層が固有の地震を発生させてきたと考えられる. 今後、さらに高密度の海底データの取得によって、より詳細な活断層情報が整備されることが期待され、その活用が重要となろう.

1. 南海トラフに沿った地震予測の現状と問題点

地震動や津波の記録などから,過去の地震の破 壊領域が南海トラフに沿って設定されてきた(石 橋・佐竹、1998 など). 地震調査研究推進本部 (2009) も, 南海トラフ・駿河トラフでの地震発生 予測範囲を,1)足摺岬沖~潮岬沖,2)潮岬沖~ 浜名湖沖、3) 浜名湖沖~駿河湾の3つに分け、 それぞれ南海地震, 東南海地震, 想定東海地震に 対応するとしてきた.しかし、この領域区分は、 震源断層と関連する海底活断層についての詳細 な情報が不十分なために、信頼にたる地震発生予 測ができていないという問題点が存在した. 2011 年東北地方太平洋沖地震の後,内閣府(2012)は南 海トラフ全域に及ぶ津波断層を新たに想定し、大 すべり域及び超大すべり域のすべり量がそれぞ れ約 20m,約 40m となる最大級 Mw9.1 の津波断層 モデルの場合の被害などを想定した. 想定外を防 ぐ意味から,最大級を想定して対応策を練ること に異論はないが,一方で,あまりに大規模な対応 が必要で, 防災対策に無力感を感じさせ, 実際に 発生する可能性が高い地震や津波への対応が疎 かになることも心配する.また、プレート境界で 発生する地震は未知な部分が多く,多様な地震モ デルを継続的に検討すべきであると考える. ここ では、過去にプレート境界で繰り返し発生してき た地震の痕跡を記録した海底地形から明らかに なった海底活断層のデータを活用し、より詳細で 具体的な地震発生予測を提案したい.

2. 活断層の分布の概要

南海トラフに沿って発達する活断層は, 東海沖 活断層研究会(1999)や徳山ほか(2001)などが 海底地形に加え反射断面から読み取れる地質構 造の特徴を根拠に認定してきた通り、トラフに平 行な前縁断層や分岐断層などの北傾斜の逆断層 の発達が顕著である.しかし、地形分解能の低い 画像による作業によっているために,活断層は直 線的かつ断片的に描かれており、その位置・形状 や連続性に対する信頼性は高いとはいえない. 中 田・後藤(2010)では、従来とは比較にならない 高い分解能の地形データを用い, 陸上の活断層の 認定と同様に実体視による地形解析を行ない、ト ラフのほぼ全域の活断層の詳細な分布を明らか にした(図1).これにより、断層の連続性や独 立性についても十分、議論可能となった. また、 長大な横ずれ断層の発見など数多くの新知見を 得た (図1).

巨大地震に関連すると考えられる主要断層の 中には、上述の破壊領域区分を超えて連続するも のや, 領域内で連続性が途絶えるものも少なから ず認められ,これまでの推定破壊領域をもとにし た地震発生予測の再検討が不可欠であることが 示された. 近年, 熊野トラフから南海トラフに至 る地域の大規模な構造調査結果から,深海平坦面 にあたる熊野トラフの外孤隆起帯 (outer ridge (茂 木、1977)) の基部に出現する分岐断層が 1944 年東南海地震の震源断層であるとの説(木村・木 下,2009 ほか)が有力視されつつあるが、この 断層は潮岬海底谷を挟んで東西に連続し, 潮岬沖 に設定されている破壊領域の境界とは対応しな い. 一方, 1946 年南海地震の震源断層は、潮岬 の東から足摺岬沖に破壊領域を持つと想定され ているが、これも分岐断層の位置・形状とは対応 しない.

新たに認定された活断層(図 1)の中で 1944 年東南海地震に対応すると推定される活断層は, 熊野トラフ底を横切って延びる逆断層で,東海沖 活断層研究会 (1999) の遠州断層系の南部にあた り,新鮮な活断層変位地形が認められる活動的な 断層である(図 2). また, 1946 年南海地震に対 応する活断層は,太地沖から潮岬海底谷を横切り 土佐バエ南縁の急崖の基部を通り,足摺岬南東に 達する逆断層である(図 2). 二つの地震の震源 断層の境界は新宮沖にあり,地震に伴う地殻変動 や津波発生を説明するのに矛盾はない.

南海トラフ陸側斜面基部に発達する逆断層 および陸側斜面に発達する逆断層は,「日本の活 断層」(活断層研究会編, 1991) などによって報 告されたもので,熊野海盆と南海トラフとの間に 顕著な outer ridge を形成するとともに,両者の間 にトラフ軸と平行する細長い舟状海盆を発達さ せる.これらの主要な活断層は,徳山ほか(1999) によって前縁断層系と呼ばれたもので,その活動 に伴って成長した急な海溝斜面には多くの地す べりが発達している.今回の詳細な地形図によっ て, outer ridge や舟状海盆の中には,トラフ軸と 平行する走向の正断層と推定される活断層が高 密度に発達し,それらの間には数多くの閉塞凹地 が認められる.2つの断層に挟まれた狭長な凹地 には,幅が数百 m,長さが数十 km に及ぶものも

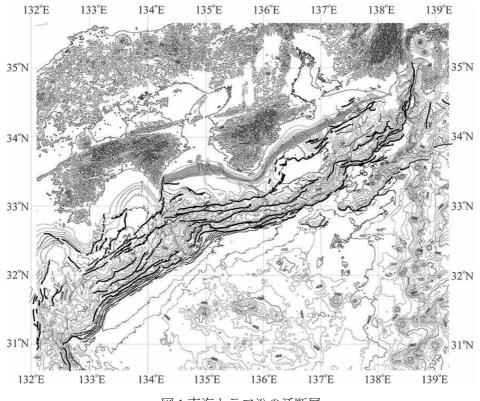


図1南海トラフ沿の活断層中田・後藤(2010)を改変

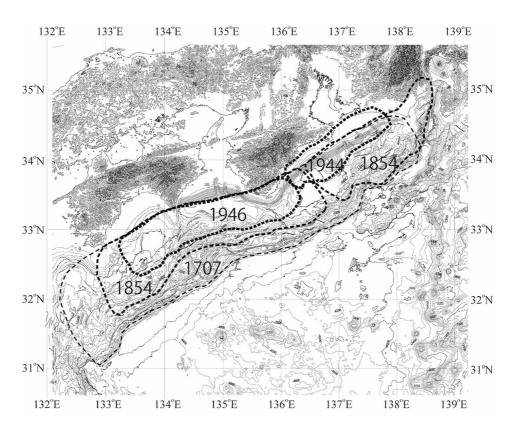


図2 海底活断層と歴史地震の関係 (予察)

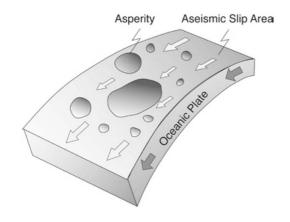


図3 プレート境界アスペリティモデル 松澤 (2009) による.



南海トラフ沿いでは、江戸時代以降、1707年 宝永地震、1854年安政地震、1946年昭和南海地 震など、大きな津波を伴う巨大地震が発生してき た.これらの地震は、断層破壊域が南海トラフ全 域に及んだ宝永地震、南海トラフの東半部と西半 部の二つの破壊域を持つ安政地震、東南部と南部 の二つの破壊域を持つ昭和地震など、異なる破壊 領域を持つとされる.図2には、これらの歴史地 震と海底活断層との関連を予察した結果を示す。

3. プレート境界型地震の活断層モデル

プレート境界型地震モデルとして、多くの地震研究者に受け入れられているアスペリティモデルでは、プレート表面に安定すべり域で囲まれた摩擦抵抗の大きな部分が存在し(図3)、抵抗部が活動した際に大地震が発生するというもので、日本海溝沿いのプレート境界にも適用されている(松澤、2009). 一方、海底活断層と歴史時代の震源域の解析からは、プレート境界で、トランプのカードが重なるように複数の活断層が断層帯を構成し、それぞれの活断層が大きさの異なる固有の逆断層型地震を繰り返して発生する断層モデル(図4)を提案できる.

アスペリティモデルも活断層モデルも、大地震がどこでも発生するのではなく、あらかじめ決まった場所で起こるという点では同じである。しかし、大きな違いは、アスペリティモデルではプレート境界面を一枚と考えているのに対して、活断層モデルでは、複数の断層面がそれぞれ独立して存在し、幅の広い収束帯をなすと考えていることである。

ヒマラヤ南麓は衝突型プレート境界として知られているが、その前縁と新生代およびそれ以前の堆積物からなる古い地層との境界には、複数の顕著な活断層が発達する(Nakata, 1989 など). これらの断層は、それぞれ特徴的な変動地形を伴い、固有の活動歴を有すると考えられており、沈

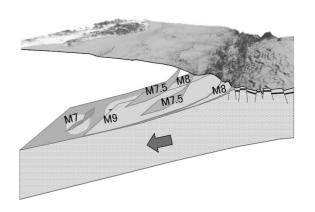


図4プレート境界活断層モデル

み込み型プレート境界でも同様な現象が想定される.

4. おわりに

変動地形学的に認定された海底活断層や変動 地形は,累積的な断層変位の具体的な証拠であり, 将来の地震モデルの設定において無視できない. 今後,さらなる情報の蓄積と活用が期待される.

参考文献

石橋克彦・佐竹健治, 1998, 古地震研究によるプレート境界巨大地震の長期予測の問題点―日本付近のプレート沈み込み帯を中心として, 地震 2, 50, 1-21.

地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2009, 「新 た な地震調査研究の推進について」,

http://www.jishin.go.jp/main/suihon/honbu09b/suishin090421.pdf.

活断層研究会編,1991,「日本の活断層―地図と資料―」東京大学出版会.

木村 学・木下正高編,2009,「付加体と巨大地震発生帯」,東京大学出版会.

内閣府,2012,南海トラフの巨大地震モデル検討会 (第二次報告),津波断層モデル編

http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/pdf/2012082 9 2nd report01.pdf.

松澤 暢,2009,プレート境界地震とアスペリティ・モデル,地震2,**61**,347-355.

茂木昭夫, 1977, 日本近海海底地形誌, 東京大学 出版会.

Nakata, T., 1989, Active faults of the Himalaya of India and Nepal, Geological Society of America Special Paper 232, 243-264.

中田 高・後藤秀昭,2010,南海トラフの海底活断層を詳細地形データから探る,科学,80,852-858東海沖活断層研究会,1999,「東海沖の海底活断層」,東京大学出版会.

徳山英一・本座栄一ほか,2001,「日本周辺海域中新世最末期以降の構造発達史」,海洋調査技術,13.

実効性のある南海トラフ地震臨時情報のための優先事項

関西大学社会安全学部 林能成

地震学にとって東海地震の予知体制は実力に見合わない苦しいものであった。その反省を踏まえ、南海トラフ地震にそなえる新しい情報は、地震の科学についての現実を踏まえた上で真に防災に役立つものであることを強く望む。新しい体制を構築している現段階で重要なことは、社会への期待を高めがちな最先端の研究への取り組みを広報することではなく、わかりやすい数字で「不確実性」を示すことと、「対象地震が限定されている」ことの意味を丁寧に説明することの2点だと考える。

1. はじめに

2017年11月に南海トラフ地震に関連する情報 の発表がはじまり、約40年間継続した東海地震 の予知情報に備える体制が実効力をなくした. 新 しく制定された南海トラフ地震臨時情報をいか に防災につなげるかは過渡的段階で、2019年3月 に内閣府から「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」が公表され て地方自治体などで具体的な対応方針が策定さ れつつある. 東海地震の監視・予知体制には、地 震学の実力から想定される地震情報の精度・タイ ミングと、情報を受けたときにとられる厳重な対 応の間には大きな乖離があると 1990 年代には多 くの地震研究者が考えていた.この体制がリセッ トされた今,南海トラフ地震にそなえる新しい情 報が、地震の科学についての現実を踏まえ、真に 防災に役立つものに再構成されるための努力が 必要である. 情報の活用体制の検討が進められて いる現在の状況において、この情報の持つ「不確 実性」を前提にしたマニュアルを広めるために何 を優先すべきかを考える.

2. 地震予知研究の立ち位置と新しい動き

南海トラフ地震に関連する情報は地震発生の可能性が相対的に高まっていると評価された場合に発表されるもので、地震予知ではないとされている.情報を発表する側の視点にたてばこの立場は理解できるが、情報を受ける側の立場にたてば、これまでの東海地震の予知情報と大きな違いはない.評価を行う組織や体制が大きく変わっていないことから、両者をまったく質の異なる情報と理解するのは無理であろう.そこで本論文で述べる地震予知には、地震発生の可能性が相対的に高まったと気象庁が発表する場合も含む.

1990 年代後半以降,地震研究者の間では地震予知という言葉には負のイメージがつきまとっている.阪神・淡路大震災直後には旧科学技術庁系の組織を中心に地震予知を地震調査研究に一斉に置き換える言葉狩りのような運動があった.東北地方太平洋沖地震を代表的な地震として,あとから振り返れば通常とは異なった観測データがあった場合があっても,リアルタイムで異常を判定できた地震はなかった.さらに科学的根拠の

乏しい民間地震予知情報の氾濫と一部の熱狂的 支持者という存在も気がかりである.

このような逆境にあっても、大学における地震 予知研究は継続してきたし、地震予知研究を目的 に整備が始まった地震観測網の充実が、地震学の 発展に大きく貢献している事実がある。ある種の したたかさがなければ、大きなプロジェクトは動 かせないという側面も否定できない。

東日本大震災直後の2011年秋に静岡市で開催されたシンポジウムに出席した松浦律子氏は,

「地震学会員は『よい人』ではあるが、この分野間競争が激化する中では絶滅し易い類ではなかろうか」と地震学会の将来を危惧している[松浦(2013)]. さらに「自己の正当化より、真理に近づくことが最優先されるべきで、それこそが学者の正当性を担保するだろう」とも述べ、特定の研究課題に集中する傾向が強い地震学会員に地震発生過程の解明につながる多様な研究への挑戦を促している.

この指摘を受けて自分自身の地震予知研究観を振り返ると、地震予知に関係する課題に積極的に取り組むか否かという研究姿勢が、現実社会への対応において「誠実である」か「したたかである」かという心情と一体化していたことに気がついた。図1にその模式図を示すが、地震予知と距離を置く研究者=誠実な研究者であり、地震予知に関わる研究者=したたかな研究者という構図である。学生時代に身をおいた環境によってこの図の見方は変わるであろうが、私の場合は、地震予

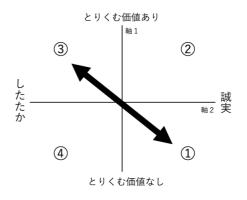


図1 予知研究への参加意欲と研究者の姿勢

知とは距離をおく①の位置にたつ研究者が誠実で模範的であるという刷り込みを受けていたのかもしれない.「地震予知」を研究するには「したたかさ」を身につけなければ生き残れないとも考えていた.

よく考えれば私の思い込みは不謹慎であり、地震予知に関係する研究に誠実に取り組むという図1の②に位置する立場は十分可能である。これまでにもこの方向性で地震予知関連の課題に取り組んだ研究者は存在する。東日本大震災から8年余りが経過して徐々に回復しつつあるこの②を志向した研究を奨励するために、今回の「南海トラフ地震臨時地震情報シンポジウム」が開催されたと考えコーディネーターを引き受けた。

少し遅れてコーディネーターに入った私の役割はパネルディスカッションのファシリテーターであった.現在の南海トラフ地震臨時情報の体系の中で,地震学の研究を進展させることで情報を高度化できる見込みがあるのはどのような場面かを考えて,他のコーディネーターや講演者と相談の上,以下のような質問を事前に用意した.

- (1) 現状の観測で、現在対象となっている地震の 判定を高精度・リアルタイムでできるか?
- ・ 最新の研究で改善する余地はあるか?
- ・ 防災対応する側に精度向上のニーズがあるか?
- (2) 社会対応レベルを下げる(平常に戻す)手続きの改善に貢献できるか?
- 経過時間で事務的に判断することについて、 どう考えるか?
- ・ 情報更新の頻度や切り上げ時期を社会はど う考えているか?
- ・ 観測と解析で科学的に「解除基準」を決められるか?
- ・ 解除後に被害地震が発生する可能性をどう 伝えるか?
- (3) 南海トラフにおける「半割れ」,「一部割れ」 以外の現象やその他の地域で起こる地震を 警告の対象にできるか?
- ・ 現行基準なら、日本海溝などでも運用可能で はないか?
- ・ どんな現象を観測・解析で捉えられるように なれば、臨時情報の対象とする地震の種類を 増やせるか?
- ・ 今後, 定常観測は社会に向けてどんな情報を 出していけるのか? その情報は防災の実務 において意味がありそうか?

ところが、事前打ち合わせを進める中で、講演者の一人である堀高峰氏から「暫定的であるはずの現在の情報体系を前提にして、それを改善するという視点でのディスカッションは危うい」という意見が出された。その指摘は私には説得力のあ

るものであったため、当日の進行においては上記 質問リストの使用は一部にとどめた.

3. 地震予知情報と社会的対応の関係

堀氏の主張の最重要点は「今の段階で情報を改善する話をすると、この情報の本質である不確実性のことを人々が意識しなくなる」ということであった。南海トラフ地震臨時情報が東海地震の予知情報と異なっている点は、情報発表の対象と大変を地震学的にかなり限定したことと、不確実性の高い情報であることを強調しているとは言い難く、情報発表のタイモとにある。しかし現時点でそのことが社会でで広へこと理解されているとは言い難く、情報発表のタイミング、内容、精度などについて発表する側と受いて対応を行う側が相互理解を深めねばならない状況である。図2に模式的に示すように、情報と対応が歩調を合わせる形で進化していくことが理想であると、地震研究者の多くは考えているのではないだろうか。

南海トラフ地震に関連する情報の体系が決められた 2017 年の時点では、国や地方自治体など各組織が情報の性質を理解した上で主体的に対応指針を決めるという地震研究者側の理想が語られていた。しかしこの段階で対応策を決められる組織は皆無であった。そこで対応する側からの要請により対応ガイドラインが 2019 年 3 月に内閣府から示され、それを受けたマニュアルの検討が進められている。だが、ガイドラインを示し・それに従うという進め方で、不確実性の高いこの情報を使いこなし育てていける発信・受け手の関係が構築できるのだろうか。

2017 年までの東海地震予知=大震法の時代に は、事前の地震情報と公的対応は、情報の流れと しての上下関係と,組織の力関係の上下関係が逆 転する図3のような状態であった. 地震学的知見 にもとづいて「東海地震に関連する情報」が出さ れ, それを受けて国や地方自治体などは大震法で 事前に定められた厳格な対応をとる. 予知情報が 出されると、それを100%信頼する前提で様々な 公的対応が決められていた. 受け手側は空振りが あることも十分承知していると述べているが,空 振りがどの程度の見込まれるかについての相互 理解はなかった[例えば,原田(1978)]. それゆえ, 極めて厳格な対応行動を決めていたように思わ れる.この関係は情報の流れの上で地震情報が上 流に位置することから, 地震学が上位に位置する ような錯覚にも陥る.

しかし法律の運用においては上下関係が逆転する.公的対応は一度決められると運用が固定化され、大きな修正することは極めて難しい.また情報発表の対象となる地震はごく稀にしか起きず、地震発生をきっかけとした見直しも行われない.現実的には不可能な一発必中が求められ、その責任は誰もとれないという状況に陥った[例え

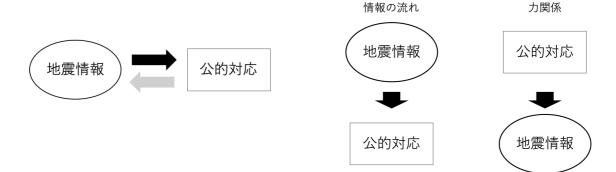


図2 予知情報と対応行動の協同関係

ば、茂木(2009)]. 東海地震予知情報の不確実性が もたらす損失や不安を整理する仕組みは結局つ くられることはなかった.

情報の流れと組織間の力関係はいうまでもなく別物で,公的対応を決める諸機関が上位にある.情報を出す観点では上流に位置する地震研究者らが「不確実性」を強調しても,一度決まった体制を抜本的に見直すといった検討がなされることは皆無であったように思われる.

東海地震の予知体制の反省を踏まえれば、南海トラフ地震臨時情報では図2にあるような協同体制で情報体系を育てていくことが理想であると考えられる.だが、現段階では対応する側とのコミュニケーションは不十分である.国や研究者が発表する情報は確実で権威あるもので、それ受けて「完璧な対応」をするのが役目という認識の人も少なくない.南海トラフ地震臨時情報の性質が十分に理解されていない現段階で、地震情報の中身を改善するという希望に満ちた話が先行すれば、この情報の本質である不確実性を頭の外においやる絶好のいいわけになってしまう危険性がある.

また、現在の南海トラフ地震臨時情報の対象地 震の範囲は「M8級の地震の次に起こる M8級の 地震」、「M7級の地震のあとに起こる M8級の地 震」など、地震学が扱いやすい地震に限定されて いて、M8以上の地震でも対象外の地震は少なく ない. しかし対応を決める側では、南海トラフで 起こるあらゆる被害地震が南海トラフ地震臨時 情報の対象と誤解していないだろうか. そこまで 極端でなくとも、「半割れ地震」を想定した情報 と、「一部割れ地震」を想定した情報による対応 指針の違いの意味が理解されていない場合は既 に見受けられる. 危機管理の世界では、最悪を想 定して対応を決めるのがセオリーなので、「全て の南海トラフ地震臨時情報を半割れ対応にレベ ルアップして対応する」と決める組織が出てくる かもしれない. そうなってしまえば, これは東海 地震予知の体制への先祖帰りである.

4. 地震研究者がすべき優先度の高いこと

図3 予知情報と対応行動の現実的関係

いま南海トラフ地震臨時情報のために研究者がすべきことは何か?ここで図1に戻り,誠実に地震予知研究に取り組む②の立ち位置の研究者が,①や③にくらべて少数と思われる理由を考えてみたい.これは研究者の心情とは別の力が働き,②の状態を維持し続けることが困難であることの結果ではないだろうか.地震予知に関係する研究に誠実に取り組むと,日本では通常の科学研究とは別のものさしで評価され,そのために,したたかさを兼ね備えた研究者である③の状態に短

時間で移行しがちなのではないだろうか.

つまり地震予知にかかわる研究者は①,②,③という一方通行で「進化」しており,②の状態は過渡期で,安定しているのは①と③の状態であると考えると頭の整理がつく.地震予知やそれにつながる地震発生の物理に関係する研究課題は社会的期待が高く,研究者コミュニティ内ではそれほど評価されない研究成果であっても,研究組織や観測網の拡充につながりやすい時代があった.組織(人)や観測は多くの固定経費が必要であり,それを維持するためには「したたかさ」を身につけて,その研究を継続することが迫られる.この構造は,社会的期待は高くとも短期間では検証できない研究課題には必ずつきまとう問題なのかもしれない.

熱意をもって地震予知に関係する研究を続けても、否定的な結果ばかりが続く可能性もある.しかし、そのときに「したたかでありながら、取り組む価値がない」という④の状態にあることを表明する人はごく一部の例外的研究者である.この状況に該当する人の多くは心に秘めて、後に続く研究者の足を引っ張らないよう黙るか、若手の研究者に「地震予知には近づかない方がよい」とそっと耳打ちをするくらいにとどめているのではないだろうか.

地震予知への社会的期待はあいかわらず高い. それゆえ,ほぼ同じ意味を持つ「地震発生の可能 性が相対的に高まっている」ことの精度をあげる 研究で社会に貢献しようとすれば、研究者としての誠実さを保つことは難しく、昔から続く一方通行の流れに飲み込まれてしまう危険性もある.そうなれば、再び研究者の多様性が失われるばかりではなく、情報の不確実さを共有した仕組みを構築し定着させることもできずに、地震研究者の多くがストレスを感じていた大震法時代に戻ってしまう可能性も高い. 泊(2015)が指摘するように、この繰り返しは明治時代から少なくとも数回起きており、今回のシンポジウムはもう一度同じことを繰り返す「準備過程だった」と後に評価されるのかもしれない.

今,日本地震学会として南海トラフ地震臨時情報の普及・定着のために優先的に取り組むべきことは,社会への期待を高めがちな最先端の研究への取り組みを広報することではなく、中谷(2018)のようなわかりやすい数字で「不確実性」を示すことと、「対象地震が限定されている」ことの意味を丁寧に説明することの2点だと考える.

参考文献

原田昇左右, 1978, 日本を地震から守る道, サンポウジャーナル, 198p.

松浦律子, 2013, 函館シンポジウムを終えて一今後の地震学としての地震予知研究のために一, 地震学会モノグラフ, vol.2, 40-47.

茂木清夫, 2009, とらわれずに考えよう, 古今書院, 195p.

中谷正生, 2018, 経験則から期待される大地震発生の確率: 相場のレビュー, 地震予知連絡会会報, 99, 465-469.

泊次郎, 2015, 日本の地震予知研究 130 年史, 東京大学出版会, 671p.

地震学の社会へのかかわり方の理想形: 「現実論」と「根本論」の共存

東北大学災害科学国際研究所 福島洋

2019年9月15日(日)に開催された南海トラフ地震臨時情報に関するシンポジウムでは、地震学会らしい、自由で真摯な議論が展開された。会場で出された意見は、主に、「臨時情報の仕組みをよりよくするための議論」と「臨時情報や地震学者のあり方を根源的に問い、理想を追求しようとする議論」に分けられる。この「現実論」と「根本論」のどちらが正しいと断ずることなく、互いの意見に真摯に耳を傾け、丁寧な検討を継続していく場こそが重要である。

1. はじめに

特別シンポジウム「南海トラフ地震臨時情報:科学的データや知見の活用」のコーディネーター役の打診があったとき、私は特に躊躇することなくお受けした。それには、以下のような背景がある。

私自身,最初は南海トラフ地震臨時情報(以下, 臨時情報)という仕組みをどのように捉えたらよ いものかわからなかったが,所属組織内での勉強 会や研究プロジェクトなどを通じて検討を重ね ていくうちに、この仕組みに対する考え方・スタ ンスが整理された経験がある. おそらく, 多くの 地震学会員は, 臨時情報について関心はあるもの の, 当初の私のようにどのように捉えたらよいか 困っているのではないか、この仕組みやその課題 等について一通りの思考プロセスを経てもらう ことで、自分なりの納得のいく捉え方ができるよ うになるのではないか、そのためにはこのような シンポジウムは有意義な機会になるのではない か,と考えた.また,私は,臨時情報の仕組みに ついて, 地震を研究対象にする研究者に将来にわ たって関心を持ち続けてもらうことは大事なこ とだと考えている、そのために有用な、いわば「共 同勉強会」的な場を用意することに多少なりとも 貢献したいとも考えた.

本稿では、シンポジウム当日の講演・議論、その後のシンポジウムの参加者との意見交換等の内容を踏まえ、今後の地震学・地震学会の社会との関わり方のあり方を考えてみたい。

2. ふたつのスタンス

シンポジウムでは、地震学会らしい、自由で真 撃な議論が展開された. 講演およびパネリストと して登壇していただいた各氏、パネルディスカッ ションを取り仕切っていただいた林能成氏、およ び会場からご意見をくださった皆様に感謝申し 上げたい.

私は、当初、シンポジウムのタイトルにある「科学的データや知見の活用」の通り、臨時情報の現在および将来の発展型の仕組みについての議論を想定していた。しかし実際は、そのテーマに収

まるトピックのほかに、その枠を超える方向にも議論が展開されることになった.

これらの議論は、大まかに二つに分けることができる。それらは、「臨時情報の仕組みを受け入れた上で、仕組みをよりよくするための議論」と、「臨時情報の仕組みや地震学者のあり方を根源的に問い、理想を追求しようとする議論」であり、いわば異なる二つのスタンスを反映した二種類の議論である。本稿では、この二種の議論を便宜的に、「現実論」「根本論」と呼び分けることにする。

(1) 現実論

本稿執筆時点において,政府(内閣府中央防災会議)は臨時情報の発表の仕組みおよび対応の基本的方針をすでに決定・発表している. 現在は,南海トラフ地震想定被害域にある地方公共団体や企業等の組織において,臨時情報が発表された際の対応計画が作成されつつある段階である(福島,2019など). 現実論とは,「せっかくできた臨時情報を防災にさらに活かしていくために,地震学者もこの仕組みにコミットしていくべきである」という,いわば「決まったことをまず受け入れるというスタンスでの,現実的・建設的議論」のことである.

シンポジウムでは、この現実論の範疇に含まれるものとして、即時的な地震メカニズム解決定・統計的地震活動予測・海底地殻変動観測などの研究の進展および技術の高度化によって、将来的に臨時情報発表のための判断の迅速化や判断基準の客観化などに貢献できるという議論がなされた。また、いわゆる「半割れケース」(プレート境界型の Mw 8.0 以上の地震が発生した場合)において大規模地震が後発する危険性は明らかであり、(最大限の警戒が必要な)半割れケースと(そこまでの警戒は必要ない)一部割れケースの境界を科学的に決めることは不可能であるものの、半割れケースと判定して警戒を促すための基準があったほうがはるかに「マシ」であるといった意見も出された。

過去の地震発生履歴データや物理モデルに依

拠する地震ハザードの評価というのは、国内外を問わず地震学・地震科学が追究している大目標のひとつであり、臨時情報が発表されるケースでのハザード評価も、この延長上で考えることができる。また、地震学者は誰でも「ある地震が起こった後、その周囲で別の地震が発生する確率は上がる」ことは知っており、そのような確固たる知見を防災・減災に活かそうと考えることは、至極自然なことと考えられる。

このような文脈で、現状を受け入れ、そこに地 震学の知見を取り入れてさらに良くしようとい う議論は、現実社会を見据えた、至極真っ当な議 論であると考える.

シンポジウムでは、上述の現実論だけでなく、

(2)根本論

「臨時情報の仕組みそのものの再考を促すような根源的な議論」もなされた. 具体的には、「臨時情報の枠組みを先にだされて、その中で地震学者が考えることを仕向けられるのはおかしいのではないか」、「臨時情報がなければ救えない命がある、という状況をこそ改善すべきではないから、「我々は(例えば判断基準を厳密に決めるといいない。もっと大事なところで社会の役に立つと正すべきだ」等の意見が出た. これらは、「臨時情報に対する懐疑論」「そもそも防災および地震学者はどうあるべきか論」などとも呼べる、根本的・理想追求的議論である. シンポジウムでは、こちらのほうが、現実論よりも盛り上がった印象であ

筆者にとっては、これらの意見もそれぞれ真っ当かつ理解できるものであった。また、これらの意見は南海トラフ地震の防災対策全体における臨時情報の仕組みの位置づけを認識するうえでも大事なものであり、これらの意見がシンポジウム参加者に共有されたのは意義あることと思われた。何となく思考が臨時情報の枠に囚われていていたものの、これらの意見に救われて、肩の荷が下りたように感じた参加者もいたのではなかろうか。

3. 異なる立場による分断ではなく対話と共存を

筆者が考えるに、上述の「現実論」と「根本論」 はそれぞれに理があり、違う次元の話ではあるが、 互いに矛盾するものではない、理想を常に念頭に 置き、根源的な地震学者の立ち位置や社会のある べき姿を考えながら、現状に鑑みてまずは現実的 にできることを積み重ねていけばよいからであ る、従って、幅広い意見分布があることはよいこ とだと考える.

むしろ懸念されるのは、学界で、現実論にしろ 根本論にしろ、明確な意見を持つ人たちが分断さ れて議論が噛み合わない状態となり、建設的かつ 丁寧な思索を重ねていく雰囲気が失われてしまうことである。そうなると、一部の地震学者のみが臨時情報の仕組みに関与し続け、その他の地震学者は臨時情報について無関心化するといった状態に発展しかねず、臨時情報の仕組みそのものが形骸化してしまう恐れがある。実際、かつての大震法に対する我が国の地震学者の関わり方は、そのように「一部+その他多数」に二極化してしまっていたように思う。

地震学が臨時情報の仕組みを通じてどのように防災に貢献してけるかということについては、唯一の正解があるわけではない.個々の学会員は、現実論と根本論の間のどの立ち位置にいても結構であるが、お互いの意見に真摯に耳を傾け、丁寧な検討を継続していく場こそが重要である.学会内の全体的な雰囲気として、臨時情報の枠内でしか考えられなくなってしまうのも、臨時情報(現実)を全否定し、その仕組みに対して過度に突き放した見方になってしまうのも、望ましくないと思う.筆者は、「現実論」と「根本論」の共存を大事にし、広い範囲の学会員それぞれが肩肘張らない範囲で興味を持ち続け、常に多角的な視点から関与のあり方を考えることができる状況が地震学会の望ましい形だと考える.

蓬田 (2012) は,「国家プロジェクト」(地震調 査研究推進体制や, 臨時情報の仕組みのように国 の地震防災対策体制を含んだ広い意味と思われ る)と地震学会の二重構造を前提とした上で、地 震学会が「国家プロジェクト」についての理解と 意見交換を目的とした特別シンポジウムの開催 を提案したうえで、「国家プロジェクトという組 織とその使命を否定できない日本の地震学研究 において, 地震学会は学術団体としての本来の目 的を自覚し、国家プロジェクトと学会の win-win 関係への大転換を図ることこそが,真の社会への 貢献であろう.」と書いた. 今回のシンポジウム では、多くの若い学会員を含む多様な立ち位置の 学会員が参加していた. 今後も、特別シンポジウ ムの定期的な開催やその他の取り組みを通じて, 現実論と根本論を包含する幅広い視点から丁寧 な議論を行っていくことで,地震学会員個々人が 一層の関心を持って社会との関係を考えられる ようになり、それが必ずや蓬田(2012)が思い描 いた通りに学会としての社会への貢献につなが るとの確信を持つことができた.

参考文献

福島洋, 2019, 南海トラフ地震臨時情報:起こる「かもしれない」巨大地震への対応, なゐふる, **119**, 4-5.

蓬田清, 2012, 日本の地震学の二重構造における 学術団体としての責任とは?, 地震学会モノグラフ, 1, 68-72.

したたかな社会と地震研究

名古屋大学環境学研究科 山岡耕春

内閣府防災で2011年から議論をされていた一連の南海トラフ沿いの地震に関する検討に一応の区切りがついた。筆者は、それらの会議に委員としてまた一部座長として係わってきた。発表から6年を経過した最大クラスの南海トラフ地震の想定に対して社会は向きあう努力をしていることに敬意を表したい。また、わかりにくいと言われる南海トラフ地震臨時情報の示す確率の低い予測に対して社会は向きあおうとしている。

1. はじめに

2011 年東日本大震災を受けて、内閣府防災では南海トラフ沿いの地震防災に関する検討を行った。筆者もそれらの会議に委員として、また会議によっては座長として係わってきた。一連の会議は2018 年度の報告をもって一段落した。会議の報告とその後の施策については、すでに公表されている資料を参照していただくとして、ここでは係わった者としての思いを述べたい。

一連の会議は 2011 年から 2015 年にかけて組織された「南海トラフの巨大地震のモデル検討会」(以下,モデル検討会と言う)から始まる.検討会は南海トラフ沿いで発生する巨大地震のハザードについて,科学的見地から最大クラスを想定することであり,最終的に 2015 年 12 月 17 日の長周期地震動に関する報告をもって終了した.

その間,2011年から2013年にかけて「南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ」が組織され、その下に、「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」(以下、第1次調査部会と言う)が設置された。この調査部会が地震予知についても議論することとなり、筆者が座長を務めることになった。この調査部会でも異なり、この調査部会では報告書の主要部分についてかなり細かい表現に至るまで会合で逐ーチェックを行ったからである。事務局には大変な苦労をかけたが、「確度の高い地震の予測は困難」という、それまでの予知に基づく東海地震の応急対応の根拠を崩す結論を公表するに至った。

第1次調査部会の報告は2013年5月に公表されたものの、モデル検討会の作業が長引き、報告を受けた防災に関わる議論は2016年に組織された「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」(以下評価WG)まで持ち越すことになった。すでに第1次作業部会の報告から3年を経過していたため、ワーキンググループの下に、再度同名の調査部会(以下、第2次調査部会と言う)が組織され、それ以降の新たな知見の整理がなされた。

2018 年には「南海トラフ沿いの異常な現象への防災対応検討ワーキンググループ」(以下防災WGと言う)が組織され、防災対応に関する検討

が行われた. ワーキンググループでは「半割れケース」「一部割れケース」として, 南海トラフ沿いで M8 クラスおよび M7 クラスの地震が起きた際の防災対応を検討した. このワーキンググループの下にも「防災対応のための南海トラフ沿いの異常な現象に関する評価検討基準検討部会」(以下, 検討部会と呼ぶ)が組織され, 筆者が座長となって「半割れ」と「一部割れ」を区分する基準について検討することになった.

2. 最大規模の想定に対する社会の対応

2011 年から組織されたモデル検討会は、南海トラフ沿いのプレート境界で発生する「最大クラス」の地震によるハザード評価を行った。その結果、想定モデルから予測される津波高が従来の想定よりも大幅に高くなった。筆者は、津波想定が大幅に高くなったことが沿岸地域にどのように影響しているかを知るために、機会を見つけて静岡県から高知県の沿岸地域を見て回った。

印象的だったのは、県全域が太平洋に直接面し ている高知県である. 特に想定地域の中で最も高 い津波高 34.1m という予測が 2012 年 3 月に公表 された高知県黒潮町であった. 想定の公表から6 年,2018年1月に黒潮町は標高6m(筆者調べ) で海に近い場所にあった庁舎を標高 36m (筆者調 べ)の場所に移転して業務を開始した.地盤も揺 れにくい場所へ(J-SHIS の地盤増幅率 1.85 から 0.96 の場所へ) 移転し、防災機能も大幅に高まっ た. 市町村役場は災害発生時に対応・復旧・復興 の拠点となることからこのような庁舎の移転・改 築は大変望ましいが,その一方で新しい庁舎の場 所は町の中心から離れた場所であり普段の利用 は町民にとって不便になったと思われる. しかし 利便性と引き換えても安全な役場庁舎を選択す る決断をしたことになる.

また高知県沿岸では津波に流される可能性が高い家であっても、耐震化が進んでいるという (NHKニュース).強い揺れの後にすぐ津波がやってくる場所で壊れた家に閉じ込められると津波避難もできなくなってしまう.耐震化は確実な津波避難のためには必須であり、耐震化の進捗は高知県の取り組みの効果の現れであるという.

このような対策は,巨大地震に対する安全性を

高めるものであるが、きびしい自治体の予算からの優先的措置や日常的な不便の許容と引き換えとなる。そのような決断に敬意を表したい、地震学の想定は、社会のこのような動きに連動することを改めて認識した。

3. 困難な確度の高い地震予測

第1次および第2次調査部会では、「確度の高 い地震予測は困難」であると結論としたが、特に 第2次調査部会の報告には、「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」という注目す べき表現が記載された. この文の意味するところ は,地震予測に求める確率は社会が決め,科学は その確率での予測可能性を評価するということ である, 地震や火山噴火など将来発生する自然現 象を確実に予測することは不可能であり,確率的 に評価することしかできない. そのような不確実 な将来に対しての対策であっても,対策には必ず コストがかかり、コストに見あう確率での予測が 可能かどうかで対策の実施・不実施が判断される. その意味で、単なる「地震予知が可能か?」とい う問いは実用上意味がない. 実用性をもつ予測の 確度は、対策の種類によって異なるので、実施す る対策を定義して初めて可能・不可能の評価が可 能になる. 第2次報告書では、東海地震の予知に 基づく応急対応策のコストにみあう予測は不可 能と述べているのである.

第2次調査部会では、事務局から問われた「南 海トラフでM8クラスやM7クラスの地震が発 生したときにM8クラス以上の地震が発生する 可能性」について議論した. これは過去の南海ト ラフ地震のように、紀伊半島を挟んだ東海側で地 震が発生した後に南海側で地震が発生すること をどの程度確実に予測できるかを評価すること である. M8クラスやもう少し小さな地震が南海 トラフ沿い発生した場合、M8クラスの巨大地震 が引き続き発生するかどうかは社会の関心事で ある. 調査部会では大森・宇津則と Gutenberg-Richter 則あるいは ETAS 則で示される統計的性 質をもとに議論された. 調査部会では、世界中の 海溝型の地震を調べて M8 クラスの地震に引き 続き同程度の地震が一週間以内に発生した例は 12 事例と整理した. この傾向が南海トラフにど の程度当てはまるかどうかはわからないが, 防災 対策を見当するに当たっては,1週間以内に引き つづきM8クラスの地震が発生する確率はだい たい 10%程度と想定することができる. この数 字は正確なものではないが, 国内で発生する地震 が前震である確率を考えれば, 妥当なところだろ う. これは南海トラフ地震臨時情報(巨大地震警 戒) が発表された場合のとるべき対策を検討する 上では重要な数値となる.

4. 半割れと一部割れの境界

防災WGでは、南海トラフ臨時情報の防災対策 としていわゆる「半割れ」と「一部割れ」の二段 構えで対応する方針となった. そこで「半割れ」 対応をする地震と「一部割れ」対応をする地震の 境界を決めるために、検討部会が組織され、筆者 が座長となった. さすがにこれを地震学の知見だ けで決めることはできず、大変困ったのだが、こ の境界を決めないと防災対策が動かない. 検討部 会で議論した結果、結局時空間ETASの考え方 を使うことにした. 若干トリッキーであるが, 歴 史上知られている南海トラフの地震の中で最も 小さい昭和の東南海地震 (Mw8.2) に対して半割 れ対応をするという社会的合意があると想定し, Mw8.2 を規準とした相対値としてその後に地震 が引き続く確率の Mw 依存性を見積もった. そ の計算を防災WGで示した上で基準を決めても らい、結局 Mw8.0 以上の地震を半割れ対応をす る地震とすることになった. 地震学の立場から基 準を決める考え方を提示し、それを基にして多く の分野の有識者が集まる防災WGで決めてもら ったことになった.

5. 地震予知研究

「確度の高い地震予測は困難」という調査部会の結論は、地震予知の研究を決して discourage するものではなく、社会の研究への期待と受け取ってもらいたい、確率利得のある現象の発見と、確率利得の評価がなされれば、結果としての確率が低くてもそれに応じた対策をとることができる。2019年3月16日に開催された地震予知連絡会50周年企画公開シンポジウムでは、パネリストとして招待された尾崎正直高知県知事(当時)は、確率利得のある現象が見つかったら教えて欲しい、対策は社会の側がとる、という趣旨の内容を述べられた、確実な情報でなくても、定量的な情報と共に社会に伝えることによって実施できる対策があり、そのような定量的評価を目指した研究が必要である。

3. 結論

社会は地震の被害想定や情報に対し、したたかに向きあう努力をしている。地震学者もそのような社会と向きあうことで適切な知見を提供していくことが必要だろう。

参考文献

内閣府 HP 南海トラフ地震対策 http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/ NHKニュース (2019年3月27日) https://www3.nhk.or.jp/news/html/20190327/k100 11861741000.html

地震予測と防災についての雑考

静岡大学防災総合センター 吉田明夫

地震発生には無数の偶然的要因が関与していると推定される。それを認めるなら決定論的な地震予知は本質的に不可能である。これまでに報告されている前兆現象は、顕著な偶然的要因を抽出したものともいえる。個別の前兆現象を基に地震を予知することはできないが、それらを総合的に考察することにより、中・長期的に地震発生を予測することは可能と考えられる。地震防災対策はそうした視点で進めていくべきと考える。それには私たちの生き方も問われることになるだろう。

1. はじめに

令和元年5月に、内閣府は「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」(以下、ガイドライン)を発表した.そこ では、異常な現象の観測から防災対応までの流 れが、①プレート境界における M8 以上の地震 発生時と、②M7 以上の地震またはゆっくりす べりの発生時の二つのケースについて提示され ている. ①のケースでは、「南海トラフ地震臨時 情報(巨大地震警戒)が、また、②のケースでは 「南海トラフ地震臨時情報(巨大地震注意)」が、 気象庁から、それぞれ2時間程度で発表される. 特に①のケースでは、その後、緊急災害対策本部 長から地方公共団体の長に、後発地震に対して 警戒措置を取るようにとの指示, また, 内閣総理 大臣から国民に、避難情報等に注意するように との呼びかけが行われる、また、②のケースでは、 国民に対して、日ごろからの地震への備えを再 確認する等の注意が呼びかけられる. これらの防 災対応では、どちらのケースでも種々の対策を 取る期間の目安が1週間とされている.

これに先立って平成 29 年 8 月に出された,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の報告書では,上の二つのケースのほかに,東北地方太平洋沖地震が発生した際に観測されたような,もしかして前兆現象だったかとみなされる現象が多種目で観測された場合があげられていた.上記ガイドラインで,このケースがはずされたのは,区切りとされた1週間という防災対応期間とそりが合わなかったためと推測される.自治体や企業,住民が,地震に備えて日常と異なる緊急対応を取れるのは,1週間が限度ということも聞く.

筆者は、しかし、観測成果を防災に生かす上で 重要な視点は、もしかして前兆現象かもしれな いとみられる現象が観測された時に、社会や地 震の専門家、そして住民が、どのように対処する かにあるのではないかと考えている。

2. 中・長期的な視点の大切さ

ある地域で有感地震があちこちで続けて発生 して,住民が,これは大地震の前触れではないか と懸念を抱いた時,一部の地震研究者が,その可 能性もないとは言えないとメディアで解説したとしよう。そうした時に、公の機関、文部科学省の地震調査委員会や気象庁が、そのような一部の地震研究者の発言を追認して、住民に注意を呼び掛けた例は、これまで知らない。多くは黙殺、もしくは最近続いた地震は様々なテクトニックな場で起きており、互いに関連しているとはみられないので大地震の心配はないと、否定的なコメントを発表するのではなかろうか。

しかし、例えば、1936年河内大和地震や1938年和歌山県田辺湾沖地震、1943年鳥取地震などの発生は、昭和の東南海・南海地震の、一種の前兆的な活動だったと考える地震研究者は少なくないように思われる。1854年の安政南海トラフ地震のおよそ5カ月前に発生した伊賀上野地震も前触れ的な地震であったのではと言われることもある。

あくまでも可能性としての話ではあるが、将来、近畿地方や中国地方、四国で内陸被害地震が続発し、多くの住民が懸念した場合に、南海トラフ地震の想定震源域内での M7 クラスの地震の発生ではないので、当面、防災対応をとる必要はないと、公的機関が発表するのは、適切と言えるだろうか。他の種々の観測データを調べた上で、直ちに心配はないと判断したとしても、中期的な視点から、地震発生に対していくばくかの注意喚起をすることは意味があるのではないだろうか。

筆者は、被害地震の続発だけでなく、昭和の東南海・南海地震の前に震源域とその周辺の広域で観測された地震活動の静穏化が、次の南海トラフ地震の前にも観測されるのではないかと考えている.

ガイドラインの②のケースのうち、ゆっくりすべりの発生の場合には、すべりの変化が収まってから変化していた期間と概ね同程度の期間が経過しても地震が発生しなかった時に、後発地震に対して注意する措置を解除し、通常の生活に戻る旨、呼びかけるとしている。このケースでは、前例のないほどの大きなプレート境界面でのすべりが、半年、更には1年以上にわたって続くことは想定されていないようにみえる。しかし、社会的に関心を集めるような大きなすべり

が、長期にわたって継続して観測される可能性も全くは否定できないのではなかろうか.

東海や豊後水道,紀伊水道など,南海トラフ沿いの各所で,数カ月から,場合によっては1年以上続く長期的スロースリップがプレート境界で観測されている.これらのすべり域が拡大していく,あるいはその発生間隔が短くなるというようなことがあるかもしれない.また,短期的スロースリップの発生頻度が高まり,深部低周波地震活動がいままでになく活発化するという事態が生じる可能性も考えられる.

上で述べたような現象の観測はすべて、1週間と期限を切っての防災対応になじまない.大地震発生が近づいてきている可能性を示唆するとみられるものの、いつ、地震が発生するかは言えないからである.明日かもしれないし、1年後かもしれないし、あるいは3年後かもしれない.しかし、多くの地震研究者が、通常とは異なる状況になったと考えるに違いない.

3. 決定論的な地震予知はできないことについて

少なくとも現時点において、どのくらいの規模の地震が、いつ、どこで起きるか言えないことは、多くの地震研究者のコンセンサスになっているかと思う. 筆者は、そもそもそうした決定論的な地震予知は不可能と考えている.

英語に The last straw breaks the camel's back.という慣用句がある. 堪えに堪えてきた限界に達すれば, わずかな重みが加わっただけでも耐えきれなくなってしまうという意味である. 地震発生の準備が十分に整っているところでは, わずかな擾乱によっても地震が起きてしまうことは,離れたところでの地震によって生じた微小な応力の変化や潮汐応力が, 地震発生の引き金になり得ることからも知られよう.

では、地震発生の準備が十分に整っているところを見つけることができれば、地震予知も可能ではないかと言われるかもしれない. しかし、たとえ、そうした場所が特定できたとしても、いつ、地震が起きるか、確定的に言うことはできない. いつ、どのような擾乱が生じるかまで予測することはできないからである.

地震の規模も多くの偶然に支配されているように思われる.東北地方太平洋沖地震が M9 になったのは、いくつかの固着領域が続いて破壊したという面もあるかとみられる. 2011 年 3 月 11 日の時点で広域に破壊が及んだのは、必ずしもその時に、全域において地震発生の準備が万般に整っていたからではないだろう. 隣接域での破壊に因る擾乱が更に破壊を誘発するのに十分に大きかったということもあるのではないか. 南海トラフ地震の場合に、いわゆる半割れがまず生じるか、それとも想定震源域の全体が同時に、あるいは僅少の時間差で生じるか、前もって知る

ことはできないだろう.

風が吹けば桶屋が儲かるということわざは、 様々な因果の連関で思いもかけない結果が生じ ることもあるということを言い表している. 地震 発生に関しても、そうした面があるのではない かと、筆者は考えている.

そのほとんどすべてが地震発生後とはいえ, これまでに前兆現象を観測したという報告はた くさんある. そうした"前兆"は,同じ種類のも のであっても,先行時間や現れ方は地震毎に 様々で,いつ,どのくらいの規模の地震が起きる かを,そうした"前兆"を基に予知することはで きない.次から次に新たに有力な前兆が見つかっ たと報告されるが,結局は,客観的にみて予知に 有効ではないという結論になる.では,これらの "前兆"観測は無意味だったのだろうか. 筆者は そうは考えない.

ある場所で, ある規模の地震発生の準備が整 う過程, あるいは実際に地震が発生する過程で は、多くの偶然的な要素が複雑に絡み合ってい るとみるべきではないか. そうした考え方に立つ なら、客観的な予知に有効でない"前兆"は意味 がないということにはならない. むしろ, あらゆ る現象が、実は幾分なりとも地震の発生と因果 の関係でつながっているということになる. 個別 のある"前兆"を基に正確に地震予知をしようと することは意味がない.しかし、ある地域とその 周辺で次々と生起する現象を注意深く観察し, それらが示唆するところを総合的につき合わせ ていくなら、その場所で地震発生の準備が整い つつあるという予測がある程度、可能になる場 合もあるのではなかろうか. 現在の地震予測に向 けての研究の進め方と防災の考え方には、地震 発生の本質に関しての見当違いがあるように思 われる.

4. 地震防災対策は自然の論理に合わせよう

自然災害はしばしば想定外の形で現れる.しかし、それは人の側の論理による見込み違いであることが多い.筆者は、現在進められつつある、南海トラフ地震に対する防災対策は、自然に対してこちら側の論理を押しつけているのではないかと恐れる.地震発生には無数の偶然的要素がからんでいることを認めるならば、地震発生のタイミングは本質的にわからないということを前提に対策を立てていく必要があると思う.ケース①にしてもケース②にしても、初めから1週間の対策を講じるのは、その意味で、こちら側の論理を優先させていることにならないだろうか.

筆者は、短期的に期日を限るのではなく、中・ 長期的な視点から防災対策を立てることが重要 であると考えている。そのためには、便利さと効 率を優先させている社会の在り方や、人々の生 き方についても考え直す必要があるように思う。

2018-2019 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 久家慶子(京都大学大学院理学研究科)

副議長 古村孝志(東京大学地震研究所)

内出崇彦(産業技術総合研究所)

大林政行 (海洋研究開発機構)

小泉尚嗣 (滋賀県立大学環境科学部)

酒井慎一(東京大学地震研究所)

汐見勝彦 (防災科学技術研究所)

田所敬一(名古屋大学地震火山研究センター)

田中聡(海洋研究開発機構)

鶴岡弘 (東京大学地震研究所)

中川和之 (時事通信社)

干場充之(気象研究所)

山野誠(東京大学地震研究所)

(五十音順)

2019年度日本地震学会シンポジウム

内閣府『南海トラフ沿いの異常な現象への防災対応のあり方について』報告を知る

日時: 2019年5月26日(日)18:30~19:55

場所: 幕張メッセ国際会議場 301B 号室

主催:日本地震学会「地震学を社会に伝える連絡会議」

プログラム:

1) はじめに:趣旨説明 (5分)

- 2) 山岡耕春 教授(名古屋大学)講演(20分)
- 3) 横田 崇 教授(愛知工業大学・内閣府(防災担当)) 講演 (20分)
- 4) 質疑応答(40分)

参考:

内閣府「南海トラフ沿いの異常な現象への防災対応のあり方について(報告)」、「評価基準検討部会」の報告書(2018年12月25日)は以下より閲覧可能です。 http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taio_wg/taio_wg_02.html



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)」(2019年3月29日)は以下で閲覧可能です。

http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/pdf/gaiyou_guideline.pdf (概要)http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/pdf/honbun_guideline.pdf (本文)



概要

※ 講演で使用したスライドのうち公開可能なスライドは、以下の日本地震学会会員向けホームページにてpdfファイルを公開しています。

http://www.zisin.jp/member/member15.html

シンポジウム「内閣府『南海トラフ沿いの 異常な現象への防災対応のあり方について』 報告を知る」開催報告

(公社)日本地震学会 地震学を社会に伝える連絡会議 委員 内出崇彦 ((国研)産業技術総合研究所)

日本地球惑星科学連合(JpGU)2019年大会の初日,2019年5月26日(日)18時30分より幕張メッセ国際会議場301B号室にて、日本地震学会シンポジウム「内閣府『南海トラフ沿いの異常な現象への防災対応のあり方について』報告を知る」を開催しました。大会初日、しかも日曜日の夜ではありましたが、77名(非会員10名、メディア関係者7名、博士課程学生1名を含む)の参加者がありました。

初めに、司会を務める日本地震学会「地震学を社会に伝 える連絡会議」(以下、「連絡会議」と記す)の久家慶子議 長 (京都大学) が、趣旨説明を行いました。2018年12月 25日に内閣府から公開された「南海トラフ沿いの異常な 現象への防災対応のあり方について」報告書(以下,「報 告書」)を受けて、連絡会議で検討した結果、学会員を主 な対象とした特別シンポジウムを2回開催することにした と開催経緯を述べられました. 今回はその1回目であり, 報告書の内容をきちんと知ることが目的であり、そのため に、報告書作成に携わった山岡耕春氏(名古屋大学)と横 田崇氏(愛知工業大学・内閣府(防災担当))に講演・質 疑応答を依頼したと説明されました. なお, 第2回は秋季 大会前日に京都大学で行うこととしており、報告書を批判 するだけでなく、膨大なデータや新しい知見を活かした将 来に向けての前向きな議論を行うということが予告されま した.

講演者 1 山岡耕春氏(名古屋大学)(20分間)

今回は日本地震学会会長という立場ではなく,理学の立場から予測可能性について検討に加わった者として話します。報告書にはこれまでの対応と違う点,変わらない点があります。これまでと変わらない点は、地震は突然の発生を前提とした備えをしなければいけないという点です。変わったことは、これまでの大規模地震対策特別措置法(大震法)に基づく対策は確度の高い地震発生予測を前提としたものであったのに対し、報告書では普段より地震発生の可能性が高まったことへの対策になっているという点です。

南海トラフ地震の被害想定を見直した後,各地で突然の地震発生に備えた対策が取られています.高知県黒潮町で

は役場を高台移転し、避難タワーを作り、避難ルートの看板を設置しました。 静岡県浜松市では津波避難マウンド、 静岡県沼津市では津波防潮堤をそれぞれ設置するなど、 ハード面での対策は進みつつあります。

普段より地震発生の可能性が高まったという情報については、議論がありましたが、最終的に3つのケース「半割れ」「一部割れ」「ゆっくりすべり」に対応することになりました。地震発生先行現象については、研究者からは異論があるかもしれませんが、研究段階にあり、防災にはまだ使えないと結論付けました。各ケースの現象と防災対応は以下のようにまとめられます。

「半割れ」

- ▶ 現象:南海トラフの想定震源域内のプレート境界に おいて M_w 8.0 以上の地震が発生した場合
- ▶ 防災対応:「巨大地震警戒」. 1週間後に「巨大地震 注意」. さらに1週間後に解除.
- 「一部割れ」
 - ➤ 現象:南海トラフの想定震源域及びその周辺において M_w 7.0 以上の地震が発生した場合(半割れケースの場合を除く)
 - ➤ 防災対応:「巨大地震注意」. 1週間後に解除.
- 「ゆっくりすべり」
 - ▶ 現象:ひずみ計等で有意な変化として捉えられる, 短い期間にプレート境界の固着状態が明らかに変化 しているような通常とは異なるゆっくりすべりが観 測された場合(これまで知られている定期的に発生 するゆっくりすべりは対象外)
 - ▶ 防災対応:「巨大地震注意」. ゆっくりすべりが収まってから、ゆっくりすべり期間と同程度の時間が経過した後に解除. 例えば、ゆっくりすべりが2週間くらい続いた場合は、その後2週間まで情報を出す。

警戒解除は難しい問題ですが、科学的に解除までの期間を答えることは不可能ですので、1週間ごとに段階的に自動解除となりました。これは、社会が耐えられる期間、社会生活を犠牲にしないという判断によるものであり、もちろん、その後の地震発生の恐れがないという意味ではありません。

最後に、公助と自助について私見を述べます。公助は突然災害が発生した場合に比べて被害が減る対応を取ることであり、例えば10回のうち9回外れても批判に耐えうる対応をするものです。一方、自助は自分の安全は自分で守ることが原則です。公助はみんなの命を救うもので、自分の命を守るのは自助であり、これらは区別して考えるべきです。

講演者 2 横田崇氏 (愛知工業大学·內閣府 (防災担当))(20分間)

2011 年東北地方太平洋沖地震以前の大規模地震対策では、過去に経験のないことは社会ではなかなか理解してもらえないため、過去に発生した地震に備えてきました。南海トラフにおいても、宝永以降の過去の地震を参考に検討してきており、その前提で、予知の可能性を残した東海地震を検討対象にしていました。

南海トラフ地震への対応を検討し始めた際、地震の予測は難しいということを前提として、「『理科』に答えを求めない、『社会』で頑張る」という考え方が基本となっていました。また、言葉遣いを整理するため、「予知」は法律用語でのみ使用し、ほかは全て「予測」という言葉を使うことにしました。そして、2018年秋に報告書、2019年3月に「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)」(以下、「ガイドライン」)を出されました。ここに至るまでには、2019年1月8日の防災対策実行会議において、災害対策基本法の枠組みの中で早急に進め、南海トラフ地震に備えた避難、企業の対応についてガイドラインを作って実効性のある仕組みづくりを進めるよう指示が出されたという経緯がありました。ガイドラインは、なるべく速やかに自治体や企業において対策の検討が進められるようにしたものです。

防災対応は突発的な地震発生への対応が基本であり、地 震予知を前提としたかのような誤解を与えないように、ま た、計画を作っただけで安心することのないように注意し ています.「半割れ」では、巨大地震が引き続いて発生す る可能性があるため「巨大地震警戒」として、例えば、津 波が来たら逃げられない地域については、事前に避難する ように自治体が計画を定めます. 土砂災害については、避 難も検討しましたが、あまりに広範に及んでしまうため、 注意を呼び掛けることに留まりました. 1週間後には「巨 大地震注意」に落とし、さらに1週間後に平常に戻します が、この1週間という期間は自治体アンケートに基づい て. 社会が警戒に耐えられる期間として設定しました. 「一部割れ対応」「ゆっくりすべり対応」は普段の生活をし ながら注意することとしますが、一部の方々は避難をする という対応を取るかもしれません、そして、警戒レベルを 落としたとしても、それは「安全だから帰っていい」とい う意味ではありません.

気象庁は緊急地震速報,大津波情報など,通常の情報を出していくことになっていますが,どのような地震が発生していたかという調査情報は速やかに出すことにしています.企業には,できるだけ普段通りの活動を維持するように努めていただきたいです。そのために、事業継続計画(BCP)を作って、被災量も少なくして、重要なものから

復旧をしていくことが基本です。それに加えて、不確実な情報が出たときに何らかの対策が取れると、さらに被害の軽減が出来るのではないでしょうか。これにはまだいい知恵がないので、みんなで考えていく必要があります。そして、ガイドラインは毎回見直しながら、南海地震に備えるものです。

地震予知は将来に向けて重要な課題ですので、次の地震 を観測して、打てる手があれば打っていきたいです.

質疑応答

お二方のご講演に引き続いて、講演時間と同程度に当たる 40 分間の質疑応答が行われました。そのうち主だったものをご紹介いたします。

まず、「巨大地震警戒」「巨大地震注意」の臨時情報が出る状況についての質問が相次ぎました。M9の地震が起きた場合の対応についての質問に対しては、初めは調査中とした後、検討の結果「全割れ」の評価を発表すると、横田氏が回答しました。仮に2004年の紀伊半島南東沖の地震が今発生した場合の対応を問われた際には、山岡氏が「巨大地震注意」の情報が出ると答えました。

「半割れ」「一部割れ」の判断についての質問に対しては、プレート境界であれば M8 以上は「半割れ」ですが、プレート内の場合は M7 以上であれば、M8 であっても「一部割れ」と考えると、横田氏が回答しました。それを受けて山岡氏が、「半割れ防災対応」(防災対応)と「半割れ地震」(現象)の区別には注意していただきたいと補足しました。

「ゆっくりすべり」の基準が定性的であるとの指摘に対しては、それを認めた上で、定量的な基準は今後の検討課題であると横田氏が答えました。 山岡氏は、今までとは違うゆっくりすべりが発生した場合はこれまでも突っ込んで議論してきたとして、現在も手探り状態であると応じました。これに対して、例えば、半割れが起きて、余効すべりが長く続いた場合はどのように対応するのかという質問も出されました。横田氏は、特段の異常がなければ、そのすべりを余効すべりと評価して終わるが、そうでなければ、余効すべり以外の変化が起きているという情報を出すことになると答えました。分からないなら「分からない」と言うことになるとも付け加えました。山岡氏は、現象の説明はできると述べました。会場からは、これを第2回シンポジウムのテーマにしてもよいのではないかという声も上がりました。

周期的に発生してきた微動がずっと起きていないなど、 地震活動等の静穏化が見られた場合の対応を問う声に対し て、山岡氏は、それは現時点では扱わず、今後の研究課題 であるとしました。 東側で先に巨大地震が起こり、次に西側で発生すること を想定しているのかという問いには、そのような順序の限 定はしてないと山岡氏が答えました.

臨時情報を出す際、その根拠も一緒に出すのかという質問に対しては、2時間で迅速に出せる情報として、震度分布、国土地理院のREGARDなどによる推定破壊域などを報告して、できるだけ解説するだろうと山岡氏が回答しました。横田氏はそのほかに自動・手動のCMT解、破壊過程など、できるだけ情報を出すと述べました。

大震法の取り扱いについての質問に対しては、横田氏が、自分で答えられるレベルでないと前置きした上で、大震法の廃止も視野に検討をせよと言われたものの残っていると答えました。残っていても何か問題が起こるわけではないと付け加えました。

ガイドラインの運用についての質問もありました. 2020 年度の前に修正版は出る予定があるかという質問には, 今のガイドラインに基づいて, 企業が BCP を, 自治体が地域防災計画を作ることになると横田氏が答えました. ガイドラインはいつか修正をするかもしれないが, 時期・間隔は決まっていないとも述べました. ガイドラインは抑えた対応を推奨しているが, 過敏な対応が出てしまうのではないかとの懸念の声には, 横田氏が, そうならないように議論したとコメントしました.

質疑応答の最後に横田氏が、報告書は現時点での知見に基づいていると述べました。新たな知見が出たらしっかり見直すべきであり、5年とか10年とか、時間を空けすぎない程度に更新をしていくことになるだろうと結びました

最後に

19時55分頃に拍手で散会となりました。質疑応答の際には「地方大学に居ると自分の口で説明をしなければならなくなるので、こういう場は助かります」という声も上がりました。会場の雰囲気からは、報告書を知るという目的は達成されたように感じられました。その中で各々、研究して解決すべき課題を見つけられたのではないかと思います。秋季大会前日の第2回シンポジウムでは、これを踏まえて地震学が貢献できる可能性について検討する予定です

当日の講演で使用した資料のうち、公開できるものについては会員専用ページで公開しています。なお、会員専用ページに入るには専用のユーザ名とパスワードが必要になります。ご不明の場合は、メールで学会事務局までお問い合わせください。

http://www.zisin.jp/member/member15.html

日本地震学会特別シンポジウム

南海トラフ地震臨時情報:科学的データや知見の活用

日時: 2019年9月15日(日) 15:00~18:00

場所: 京都大学吉田キャンパス北部構内 理学研究科 6 号館 301 号室

http://www.sci.kyoto-u.ac.jp/ja/map.html

主催: 日本地震学会

企画:「地震学を社会に伝える連絡会議」

(コーディネーター:福島 洋・東北大学災害科学国際研究所、林 能成・関西大学社会安全学部、加藤愛太郎・東京大学地震研究所、久家慶子・京都大学大学院理学研究科)

趣旨: 南海トラフ地震臨時情報の発表および社会の防災対応の一連の流れのなかで、将来的に 地震学が防災・減災のために一層の貢献していくための可能性を議論する。

申し込みについて: 参加申し込みは不要です。本シンポジウムは、地震学会会員向けですが、 非会員の方も聴講いただけます。なお、専門的な内容や議論となりますので、ご了承ください。

プログラム:

- 1) 15:00-15:05 開会挨拶(山岡耕春会長)
- 2) 15:05-15:15 趣旨説明と JpGU シンポのフォローアップ (久家慶子・京大理)

■前半の部:地震研究者による講演

- 3) 15:15-15:30 地震活動モニタリングの現状と今後(武村俊介・東大地震研)
- 4) 15:30-15:45 地震活動のリアルタイム確率予測:現状と展望

(近江崇宏・東大生産研)

- 5) 15:45-16:00 リアルタイム・連続海域観測(田所敬一・名大大学院環境学研究科)
- 6) 16:00 16:15 海底下での地殻活動の現状把握と推移予測

(堀高峰・海洋研究開発機構)

7) 16:15-16:30 臨時情報への組織対応に貢献しうる地震学からの

アウトプットについて(木戸元之・東北大災害研)

■後半の部:ディスカッション

- 8) 16:45-17:00 地震学と防災の関係について—南海トラフ地震情報の課題 (飯田和樹・フリーライター)
- 9) 17:00-17:50 パネルディスカッション:地震学が臨時情報に貢献していくには? (ファシリテーター:林能成・関西大学社会安全学部、パネリスト:講演者各氏)
- 10) 17:50-18:00 閉会挨拶(山岡耕春会長)

参考:



本シンポジウムの資料 (地震学会会員向けページ) http://www.zisin.jp/member/member16.html



シンポジウム「内閣府『南海トラフ沿いの異常な現象への防災対応のあり方について』報告を知る」資料(地震学会会員向けページ)

http://www.zisin.jp/member/member15.html



シンポジウム「内閣府『南海トラフ沿いの異常な現象への防災対応のあり方について』報告を知る」開催報告(NL7月号記事)

https://www.zisin.jp/publications/pdf/newsletter/72NL2.pdf



内閣府「南海トラフ沿いの異常な現象への防災対応のあり方について(報告)」、 「評価基準検討部会」報告書

http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taio_wg/taio_wg_02.html



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)」(2019年3月29日)

http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/pdf/gaiyou_guideline.pdf (概要) http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/pdf/honbun_guideline.pdf (本文)

と述べられた.

シンポジウム「南海トラフ地震臨時情報: 科学的データや知見の活用」開催報告

(公社)日本地震学会 地震学を社会に伝える連絡会議 委員 干場充之(気象研究所)

日本地震学会 2019 年度秋季大会が始まる前日の9月15日(日)15時より,京都大学理学研究科6号館301号室にて,日本地震学会特別シンポジウム「南海トラフ地震臨時情報:科学的データや知見の活用」を開催した。なお、このシンポジウムのコーディネーターは福島 洋(東北大学災害科学国際研究所),林 能成(関西大学社会安全学部),加藤愛太郎(東京大学地震研究所)および久家慶子(京都大学大学院理学研究科,「地震学を社会に伝える連絡会議」議長)の各氏が担った。

大会の前日だったが、107名(講演者とファシリテーターを除く、非会員9名を含む)とメディア関係者7名の参加者があった、山岡会長の挨拶の後、趣旨説明、6名の講演者による講演、パネルディスカッションと、18時過ぎまで議論が行われた。

趣旨説明

まず、「地震学を社会に伝える連絡会議」議長の久家慶 子氏から、趣旨説明が行われた。南海トラフの地震での防 災対応のあり方について大きな変更が行われたので、その 重要性から、会員を対象に2回のシンポジウムを開催する ことを決めたこと、1回目は内閣府の報告の内容をきちん と知るという目的で5月の IpGU の時に開催したこと、今 回は、2回目として地震学的知見を活用するためにはどう したらよいかを議論するという趣旨であること、の説明が あった. 1回目のシンポジウムの内容を振り返りながら. 南海トラフ地震臨時情報(以下, 臨時情報)の発表は3つ のケース(半割れ、一部割れ、ゆっくりすべり)で設定さ れていること、およびその過程で鍵となる点を参加者で共 有した. そして, これらに対して将来的に地震学的データ や知見をどう活用することができるか、講演やパネルディ スカッションで議論していくことが話された。さらに、本 シンポジウムは結論を出すことが目的ではなく、将来の研 究などの方向性について参加者各々が考える機会としたい

地震学者による講演

まず、武村俊介氏(東大地震研)から「地震活動モニタ リングの現状と今後」の講演が行われた. 一部割れか, 半 割れかの判断は2時間で行う必要があるとされているた め、この時間内に何ができそうなのか、自動地震モニタリ ングの現状と将来展望についての紹介があった。現在、防 災科研で稼働している AQUA システムでは 10 分程度で CMT 解が出て F-net の広帯域の解析で MT 解も 10 分程 度で Web に画像が出されることの紹介があった。スロー 地震に関しては微動のモニタリングシステムが動いてい て、日ごとにカタログが掲載される. しかし、海域で発生 した地震に対しては観測点配置が偏っているため、この段 階で得られる CMT 解などでは断層面が高角か低角かの判 断は難しいこと、40-50分で遠地のデータを含めた解析が 出てこの段階で解の精度が上がること、また、3次元構造 を使えば、地震のメカニズム解や CMT 解も良く決まるよ うになる、とのことである。3次元構造モデルがチューニ ングされていれば、3次元での波動伝播のシミュレーショ ン結果も使えて、10-20分くらいでより高精度な解が求め ることができるようになるだろう、とのことである. ま た、スロー地震に関しては、3次元構造などを考慮したテ ンプレートができれば、マッチドフィルター法で解析がで き、活動の推移をリアルタイムで捉えられるようになるだ ろう, との紹介があった.

次に, 近江崇宏氏 (東大生産研) から, 「地震活動のリ アルタイム確率予測:現状と展望」の講演があった. ま ず、地震活動予測は、時間空間で地震活動がどう分布する かを確率的に予測するもので、特定の巨大地震を予測する ものではなく地震予知とは違うこと、決定論的ではなく、 確率的な予測をするとの説明があった. 大きな地震の後の 地震活動の予測では、ETAS、大森式やGR則など、古く から提案されていた方法があり、それを用いることで予測 ができることは以前から言われていたものの. リアルタイ ムにできるようになってきたのはごく最近のこと、との説 明があった. 予測する難しさとしては、地震活動それぞれ で個性があり結構違うこと、また、地震発生の直後は余震 が重なって不完全な観測データしか得られないこと、リア ルタイムに得られる震源データの質は人の手で決定される データに比べると低いこと、とのことである、リアルタイ ムに地震活動を解析して予測を行うことが可能になってい るが、まだ改良が必要で、東北地震や熊本地震のような顕 著な前震の時に、危険度が高いと言えるか今後研究が必要 であること, また, 海域での地震のモニタリングの高精度 化の必要性や、確率として得られる予測結果についてどう

社会とコミュニケーションを取るかが課題, との指摘があった.

田所敬一氏(名大大学院環境学研究科)からは、「リア ルタイム・連続海域観測」の講演があった. 海でより良い 観測をするために、リアルタイム連続観測の必要性が述べ られた. ゆっくりすべりケースでは. 固着状況が明らかに 変化したかどうかの判断が重要であり、普段から正常な状 態(平均的な状態や揺らぎの幅の程度)とは何かを知って おくことが必要であること、特に、測地観測については平 常時の状態を知るためのデータの蓄積に時間がかかるた め、早期に観測を開始するのが重要との指摘があった。ま た、2時間でどういう現象かを判断するためには、いつで も、すぐに、そして誰でもデータが見られることが大切 で、実観測をもとにして国の実践的な防災に貢献するには リアルタイム観測が重要、とのことであった. 今後の観測 のあり方については、3つの協調(観測項目間の協調、海 と陸との協調、モニタリングとシミュレーションの協調) が重要で、また、持続可能性の担保、すなわち、観測網を どこが面倒を見るかの体制の整備や基地局も津波被害を受 けないところに設置する必要性, などの指摘があった.

堀高峰氏 (海洋研究開発機構) からは当初 「海底下での 地殻活動の現状把握と推移予測」の題名での講演予定が あったが、そもそも論として、臨時情報の曖昧さとその情 報による自治体等での対応策のミスマッチについての講演 があった。まず、なぜ臨時情報になったのかを振り返る説 明があった。2,3日以内の確度の高い大地震発生の予測 (予知) は出来ないと宣言し、それに代わって普段に比べ て地震発生の可能性が高いということを示す情報であるこ と、可能性が高いということの相場観が分かった上で、そ れに見合った対策をとることが大切、一部割れでは通常の 数倍にしか発生確率は上がらないので自主避難をはじめ、 社会を動かす対応はやりすぎだと思う、との説明があっ た、また、現在の科学ができることとして、リアルタイム で何が起きてどのようなことにつながるか、科学的根拠を 持って示して、社会にもそれに見合った使い方をしてもら うことが大切, 例えば, 地震の揺れや津波遡上の予測にも とづいて、どんな被害が起きそうか、どんな被害が起きて いるか、を災害発生直後に予測することも重要であり、ま た、何が海底下で起きているかを示すことで、何が起きて いるかわからない状態がもたらす不安を和らげることも災 害時には重要とのことである。そのためには、震源域の真 上で変動をとらえる必要があることから、連続リアルタイ ム海底地殻変動観測の重要性についての指摘があった.

最後に木戸元之氏(東北大災害研)から「臨時情報への 組織対応に貢献しうる地震学からのアウトプットについ て」の講演があった。 臨時情報がでた場合の危機感の相場 感,準備しておくものは何か,など行政や企業がどのように対応するかの選択肢を支援パッケージとして提供する取り組みについて説明があり,地震学の知見を活かす上でのポイントの紹介があった。3つの班でインターラクションしており,現象評価研究班(地震学者が中心)では何が起きているか,その後の推移の予測を他の班に正確に伝えること,対応行動体系化班では推奨対応レシピを掲示し企業のBCPを臨時情報対応に拡張すること,社会影響研究班では対応行動が社会にどう影響するのかを解明すること,を担っている。地震学者は早く正確な情報を得るための観測,解析手法の高度化は当然として,現代社会では説明者としての役割を求められており,他の分野の研究者との連携が重要,また,難しい言葉を視覚化して,よりイメージをしやすくすることが大切,との指摘があった。

ディスカッション

まず, 飯田和樹氏 (フリーライター) から, 「地震学と 防災の関係について―南海トラフ地震情報の課題」の講演 があった. ライターとしてキャリアの中で, 東海地震だけ が特別扱いはおかしいという問題意識を持っていたが、南 海トラフ地震臨時情報の取材でも違和感があり、東海地震 の時と余り変わらないと感じた、とのことである。出発点 は、どういう情報があれば役に立つと住民が思うかという 観点だが、いまの臨時情報は住民無視になっている気がす ること、そのためには臨時情報はそれほどたいしたもので はないということを伝え、過度な期待感を小さくしていく 努力が必要であること, の指摘があった. 地震学者の危機 感と、市町村、国の危機感にギャップがあること、また、 基礎的な地震学の知識が防災に活用できていないのが現 状、とのことである、被害者を5千人から100人に減らす のと、100人を1人に減らす対策は異なるが、臨時情報は 100人を1人に減らすことに対応する. 臨時情報以外にも 他にやることがあるだろう、との指摘であった.

パネルディスカッション:地震学が臨時情報に貢献していくには?

続いて、林能成氏(関西大学社会安全学部)がファシリテーターを担い、パネリストとして講演者各氏が登壇した.

まず、半割れや一部割れの判断基準について議論があった。そもそも(Mw という)理学の分類で防災対策が分けられていることがおかしい、という意見があり、また、Mw の推定には誤差があり、Mw をひたすら正確に決めることに邁進する必要はなく、それよりも、ΔCFF や今後の推移予測の観点で科学的知見を引き出せるかが重要との指摘があった。一方で、M8 と M7 の地震の発生後の危険

度の違いは明らかであり、行政としては、必要な人を避難 するための閾値など、どこかで線引きをする必要はあるだ ろうとの意見もあった.

さらに、行政対応について話が移っていった。どこかの 自治体がオーバーアクションの対応をとると他の自治体も 引きずられることもあり、地震学者は、そんなにたいした 情報ではない(その対応策に見合った情報ではなく、その ような対応策はとるべきではない)と言っていく必要があ ること(その指摘ができるのは地震学者だけであること)、 また、そもそも逃げるのに間に合わないところに住んでい るとか、病院がそこにあるとかが問題では、との指摘が あった。リスクを承知で住む自由、権利は我々には残され ているので、そこをどう折り合いを付けるか、地方の過疎 化などへも対処することが必要ではないか、との意見も あった。

次に、臨時情報発表時の警戒期間の長さに関する議論が あった. 避難生活に耐えられる期間の上限をもとに「1週 間」と決められているものの3日くらいしか持たないよう に思う、また、「1週間」と決め打ちするのは科学的では ないのでは、との指摘に対して、地震活動を見て活動度が 下がった時期や、モニタリング体制が整っていれば地殻変 動の様子から時期を判断できるのでは、との意見があっ た. 一方, 今の地震学の実力では, 割り切るしかないので は、地域ごとに事情が違うことも考慮したほうが良いので は、との意見もあった. さらに、科学的な根拠での議論を 始めると、臨時情報の他にやるべきことがおろそかになる 可能性があり、まずは臨時情報が無くても対応できるよう にするべき、との意見があった、関連して、臨時情報を、 普段から危険な場所に住んでいる人を避難させるのに使う というのは不適切(そういう場所には住むべきではない) だが、たまたま仕事などで海に近づく人を避難させるのに 役立つだろう, との意見があった.

会場からは、防災の主役は住民や行政であるにもかかわらず、地震学の知見を役に立てようと考えすぎているのではないかとの意見が出た。地震学が出来ることとして、マスメディアに対して、天気予報が毎日やっているように、「何もない」ことを含めて、普段から地震活動や固着・すべり状況を毎日伝えられないか、との意見があった。これに対して、従来は、新聞の紙面とか放送時間が限られているので難しかったが、ネットメディアでは分量は関係ないので、これからは伝えられる可能性はある、とのことである

スロースリップでの情報に関しての議論があった. 普段 と違うかどうかや固着の外側か内側かが判断基準かもしれ ないが"避難しろ"と言えるようなレベルではないので は、また、今の段階では、不確実性が大きい、知見を積み 重ねていくことが大切, との指摘があった.

なにか異常を見つけた時にどうやって社会に発表すれば よいかの議論があった. 個人としては発表したいが, 外れ た時が怖いので, フレームワークを考える必要がある (例 えば, 予知連の「予測実験の試行」をより積極的に行うな ど), 何か言うとすぐに避難という話になり大げさに捉え られすぎる傾向がある, との指摘があった. 臨時情報にし ても避難するということを促す情報としてとらえるべきで はない. との意見があった.

大げさにとらえられないようにするためには、相場観を 伝えていけばよく、逃げるのはコストが高い、家具固定は コストが低いなど、企業は定量的に評価でき備蓄量とかを コストと確率で評価できる、との指摘があった。一方、み んなに分かってもらうことは基本的には不可能だろうか ら、誰に分かってもらうのかを意識することが重要との意 見もあった。

また、半割れの場合だけ情報を出せば良いので、一部割れの場合は根拠はないのでは、との指摘があり、重要なのは突発への備えだろう、「情報が出るので事前に避難」は違う方向に行っていると思う、との意見があった。これに対して、会場からは、民間企業等が定めているガイドラインでは、突発が前提で、基本的には平常を維持するのが基本、との説明があった。

最後に、山岡会長からの「今日は建設的な議論を聞かせてもらった。基本は、普段の備え、最終的に地震学の成果が活かされることが重要。予測もその一つ。トータルとして、地震の被害を減らすということが願い」との挨拶で締めくくった。

本シンポジウムの講演で使用した資料のうち、公開できるものについては会員専用ページで公開している(http://www.zisin.jp/member/member16.html)。会員専用ページに入るには専用のユーザ名とパスワードが必要となる。不明の場合は、メールで学会事務局まで問い合わせて頂きたい。

なお、本シンポジウムに関連して、講演者および公募による原稿からなるモノグラフを刊行する予定である。各講演者からのさらに詳しい解説はそちらを参照頂きたい(https://www.zisin.jp/publications/monograph06_01.html).

最後に、本シンポジウムの開催にあたって、コーディネーターの方々、講演者の皆様、議論に参加していて頂いた皆様に改めて感謝いたします.

第2回特別シンポジウム 「南海トラフ地震臨時情報:科学的データや知見の活用」写真集

(撮影:田中 聡氏)



会場の様子(講師、メディア関係者を含めて約120名が参加)



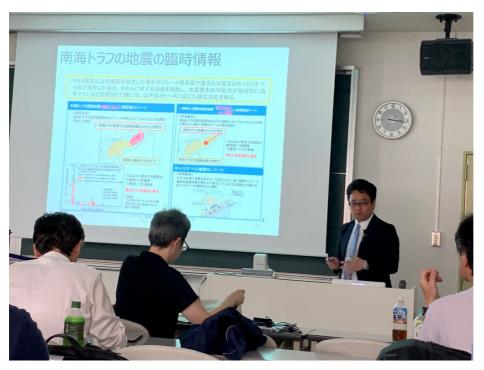
第 2 回特別シンポジウムのコーディネーターおよび当日の司会を務めた福島洋氏(東北大学災害科学国際研究所)(中央) からの挨拶と注意



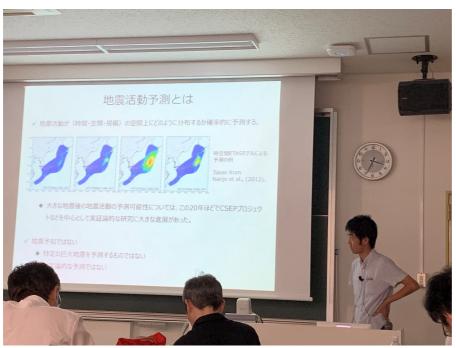
山岡耕春日本地震学会会長からの開会挨拶



久家慶子氏(京都大学大学院理学研究科)による趣旨説明と JpGU シンポのフォローアップ



武村俊介氏(東京大学地震研究所)の講演



近江崇宏氏 (東京大学生産研究所) の講演



田所敬一氏(名古屋大学大学院環境学研究科)の講演



堀高峰氏 (海洋研究開発機構) の講演



木戸元之氏(東北大災害科学国際研究所)の講演



飯田和樹氏(フリーライター)の講演



パネルディスカッションの様子(左端が第2回特別シンポジウムのコーディネーターおよびパネルディスカッションのファシリテーターを務めた関西大学社会安全学部・林能成氏)



パネルディスカッションの様子